

Airi Hukka

Raskaasti kuormitetut maanvaraiset betonilattiat

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

15.4.2014

Alkusanat

Haluan kiittää insinöörityöprojektissa mukana olleita työnohjaajia Kari Visusta Pöyry Finland Oy:ltä ja Jouni Kallomäkeä Metropolia Ammattikorkeakoulusta. Työmaavierailusta tahdon kiittää Lemminkäinen Talo Oy:n vastaavaa mestaria Seppo Mannista. Iso kiitos myös perheelleni tuesta ja avusta.

Keravalla 15.4.2014

Airi Hukka

| | |
|--|--|
| Tekijä Otsikko | Airi Hukka Raskaasti kuormitetut maanvaraiset betonilattiat |
| Sivumäärä Aika | 59 sivua + 3 liitettä 15.4.2014 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Rakennustekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Rakennetekniikka |
| Ohjaajat | Osastopäällikkö Kari Visunen Lehtori Jouni Kalliomäki |
| <p>Insinööriyössä tutkittiin raskaasti kuormitettujen betonilattioiden toimivuutta, erityisesti halkeilun osalta. Tavoitteena oli tutkia, halkeileeko laatta vai ei, sekä selvittää, mikä aiheuttaa mahdollisen laatan halkeilun. Työssä huomioitiin lattiarakenteiden halkeiluun liittyvien eri tekijöiden vaikutus laatan kestävyys- ja mitoitus- ja rakennusolosuhteisiin. Halkeiluun ja laatan kestävyys- ja rakennusolosuhteisiin liittyviä tekijöitä ovat esimerkiksi betonimassa, raudoitus, alustan kantavuus ja kuormitustapa. Työ toteutettiin kansainväliselle suunnittelu- ja konsultointiyritykselle, Pöyry Finland Oy:lle.</p> <p>Maanvaraisten betonilattioiden ongelmana on halkeilu, joka johtuu usein puutteellisesta suunnittelusta ja toteutuksesta. Betonilattiaan saattaa syntyä halkeamia heti valun jälkeen tai vasta vuosien kuluttua. Raskaasti kuormitetuille lattioille on erityisen tärkeää valita riittävän kantava alusta ja laadultaan oikeanlainen betonimassa. Lisäksi on huomioitava, että saumat ovat lattian heikoin kohta, joten saumajakoon kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. Raskaasti kuormitetuissa tiloissa suositetaan yleensä saumattomia lattioita. Saumattomat lattiat mahdollistavat vapaamman hyllyjen sijoittelun ja helpottavat ajoneuvojen käyttämistä lattialla. Toteutuksen aikana on tärkeää huomioida valuolosuhteet ja riittävä jälkihoito.</p> <p>Insinööriyö toteutettiin kirjallisuustutkimuksena, jossa hyödynnettiin kirjallisuuslähteitä ja Internetiä. Projektin aikana käytiin tutustumassa Sipoon Logistiikkakeskukseen, jossa on 56 000 m² maanvaraista lattiaa. Lisäksi laatan kestävyyttä tutkittiin laskennallisesti. Laskennassa huomioitiin erilaisien alustojen ja laatan paksuuden vaikutus laatan kestävyys- ja rakennusolosuhteisiin. Saumattomien lattioiden raudoituksen määrää tutkittiin laskennallisesti eri paksuisilla laatoilla.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena huomattiin, että on lähes mahdoton toteuttaa halkeilematon betoni- lattia. Kutistuminen kuuluu betonin perusominaisuuksiin ja halkeamia pääsee muodostu- maan, jos betonin kutistuma on estetty. Halkeilua voidaan kuitenkin hallita esimerkiksi rau- doituksen ja alustan avulla sekä betonin lujuudella ja siihen lisättävillä lisäaineilla. Lisäksi tutkimuksen tuloksena huomattiin, että valuvaiheessa halkeilemattomat lattiat saattavat halkeilla vasta vuosien kuluttua.</p> | |
| Avainsanat | Maanvarainen lattia, halkeilu, kutistuminen, saumaton lattia, jälkihoito |

| | |
|--|---|
| Author Title | Airi Hukka Heavy-duty ground concrete slabs |
| Number of Pages Date | 59 pages + 3 appendices 15 April 2014 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Specialisation option | Structural Engineering |
| Instructors | Kari Visunen, Department Manager Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer |
| <p>This thesis studies heavy-duty ground concrete slabs focusing on their tendency to crack. The aim was to find out whether slabs crack and what causes cracking. The work concentrated on identifying factors that cause cracking in concrete floor structures and the way in which they relate to the durability and dimensioning of the slab. Factors that influence cracking are, for example, the concrete mix preparation, quantity and position of reinforcement, coefficient of subgrade reaction and the way in which the slab is laid and loaded. The study was commissioned by Pöyry Finland Oy which is an international consulting and engineering company.</p> <p>Often concrete slabs crack due to problems in planning and construction. Cracks can occur at any time, either just after casting or years later. It is particularly important that the type of concrete slab chosen suits the purpose for which it will be used this heavy-duty slabs should be used for heavy-duty purposes. The weakest point in the slabs are gaps between concrete slabs, hence the gaps should be evenly spaced. A continuous concrete floor is recommended for heavy-duty needs. Such floors allow for the movement of shelves, and make it easier to use vehicles. It is, however, most important that the concrete is given enough time to set, and is property maintained afterwards.</p> <p>The background information for my thesis was obtained from research literature and the Internet. As part of the project, I visited the Logistics Center in Sipoo, where they have 56.000 square meters of ground concrete slabs. The durability of the concrete slabs was also using mathematical models. These calculations studied how different ground materials and the density of the slab affect its durability. The reinforcement within a continuous concrete floor was mathematically studied for different slab thicknesses.</p> <p>The main finding was that it seems almost impossible to completely avoid the cracking of ground slabs. Shrinkage is a basic property of concrete and cracking will occur if the concrete is prevented from shrinking. The possibility of cracking can be minimized by, for example, paying attention to the properties of the base material, and reinforcement, the correct strength of concrete and the right kind of additives. Even then, it is possible that a ground slab cracks after several years of use.</p> | |
| Keywords | Ground slab, cracking, shrinkage of concrete, continuous concrete floor, curing |

Sisällys

Sanasto

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Maanvaraisen betonilattian rakenne ja toiminta | 2 |
| 2.1 | Betonilaatta | 3 |
| 2.2 | Betonilattian alusta ja sen ominaisuudet | 4 |
| 2.2.1 | Lämmöneriste | 4 |
| 2.2.2 | Perusmaa, täyttömateriaali ja salaojituskerros | 5 |
| 2.3 | Alustan mitoitus | 5 |
| 3 | Halkeilu | 7 |
| 3.1 | Kutistuminen | 8 |
| 3.2 | Halkeilun ajankohdat | 11 |
| 3.2.1 | Tuore betoni | 12 |
| 3.2.2 | Kovettuva ja kovettunut betoni | 14 |
| 3.3 | Halkeilun rajoittaminen | 15 |
| 4 | Maanvaraisen lattian suunnittelu | 16 |
| 4.1 | Laatuvaatimukset ja pintavalu | 16 |
| 4.2 | Paksuus ja raudoitus | 18 |
| 4.3 | Betonimassa | 21 |
| 4.4 | Kuormat | 22 |
| 4.4.1 | Tasainen kuormitus ja viivakuormat | 23 |
| 4.4.2 | Sysäyskuormat ja työnaikaiset kuormitukset | 23 |
| 4.4.3 | Pistekuorma ja sen sijainnin vaikutus | 24 |
| 4.4.4 | Pistekuorman aiheuttaman momentin laskenta lattian eri osissa | 29 |
| 4.5 | Muut rasitukset | 32 |
| 5 | Maanvaraisen lattian saumat | 33 |
| 5.1 | Saumallinen lattia | 33 |
| 5.2 | Saumaton lattia | 35 |
| 5.3 | Saumattoman lattian raudoituksen mitoitus | 38 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6 | Maanvaraisen lattian toteutus | 39 |
| 6.1 | Toteutus | 39 |
| 6.2 | Jälkihoito | 41 |
| 6.3 | Päällystys | 43 |
| 6.4 | Huolto ja korjaus | 44 |
| 7 | Tutkimukset ja tulokset | 44 |
| 7.1 | Laskennallinen tarkastelu | 45 |
| 7.1.1 | Pohjan laatu ja kuormitukset | 45 |
| 7.1.2 | Paksuus | 47 |
| 7.1.3 | Saumat | 49 |
| 7.2 | Tutkimuskohde | 50 |
| 7.3 | Johtopäätökset | 53 |
| 8 | Yhteenveto | 55 |
| | Lähteet | 56 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Halkeamaleveyden laskeminen ja rajoittaminen | |
| | Liite 2. Raudoitus detaljit | |
| | Liite 3. Lattioiden rakennetyypit | |

Sanasto

| | |
|---------------------|---|
| Alustaluku | Lattian alustan mitoitus kantavuusmoduulien avulla. Huomioi alustan painuman vaikutuksen taipumaan ja taivutusrasitukseen. |
| Betonipasta | Veden ja sementin muodostama kova huokoinen mineraali, joka sitoo runkoaineet ja mahdolliset raudoitukset betoniin. |
| Dumpperi | Työmaalla tapahtuvan betonin siirtoon käytettävä laite laaja-alaisilla työmailla. Mahdollistaa paksumman betonimassan käytön. |
| Hihna-auto | Työmaalla tapahtuvan betonin siirtoon käytettävä laite, joka mahdollistaa paksumman betonimassan käytön. |
| Levykuormituskoe | Määritetään alustan kantavuus asettamalla levy maan päälle. Levyä kuormitetaan tasaisella kuormalla ja mitataan levyn painuma. |
| Mikropolymeerikuitu | Polymeerikuitu, jonka halkaisija on alle 0,3 mm. Eivät lisää betonin rakenteellista lujuutta, mutta vähentävät varhaisen vaiheen halkeamia. |
| Makropolymeerikuitu | Polymeerikuitu, jonka halkaisija on yli 0,3 mm. Voidaan käyttää teräskuitujen tapaan. Hallitaan betonin kuivumista ja halkeilua. |
| Polypropeeni | Tekokuitu / muovia, jolla on erittäin hyvä kulutuksenkesto. |
| Pudotuspainomittaus | Pudotuspainon aiheuttama kuormitus mitataan kiihtyvyyssanturilla, mikä määrittää alustan kantavuuden. |
| Rasitusluokka | Määritetään rakenteille ympäristöolosuhteiden mukaan. |
| Viruma | Ilmiö, jossa kuormitetun betonin muodonmuutos kasvaa ajan kuluessa, vaikka kuormitus ei kasvaisi. |

1 Johdanto

Insinööriytyössä tutkitaan raskaasti kuormitettuja maanvaraisia betonilattioita ja niiden halkeilua. Raskaasti kuormitettuja maanvaraisia laattoja käytetään esimerkiksi teollisuusrakennuksissa, varastoissa ja myymälöissä, joissa laatalta vaaditaan riittävää lujuutta, tasaisuutta, kulutuskestävyyttä sekä siistiä ja laadukasta ulkonäköä. Työn tavoitteena on selvittää; halkeileeko laatta vai ei, sekä selvittää, mikä aiheuttaa betonilattian mahdollisen halkeilun. Tavoitteena on lisäksi selvittää, miten saadaan tehtyä kestävä ja halkeilematon betonilattia. Tarkastelussa keskitytään ohuisiin ja saumattomiin lattioihin.

Tutkimus tehdään kirjallisuusselvityksenä, vertailulaskelmilla ja työmaahan tutustumisella, johon sisältyi haastatteluosuus. Työssä tutkitaan laskennallisesti kuormituksen ja alustan täytön laadun vaikutusta betonilaatan ominaisuuksiin. Alustan vertailulaskelmissa on mukana kolme teoreettista rakenneratkaisua. Työssä tullaan vertailemaan myös eri paksuisia lattioita keskenään. Lisäksi tutkitaan liikunta- ja kutistumissaumalueiden vaikutusta laatan toimintaan. Insinööriyöprojektin aikana tullaan vierailemaan Sipoon Logistiikkakeskuksessa, ja tutkimaan kohteen lattioita.

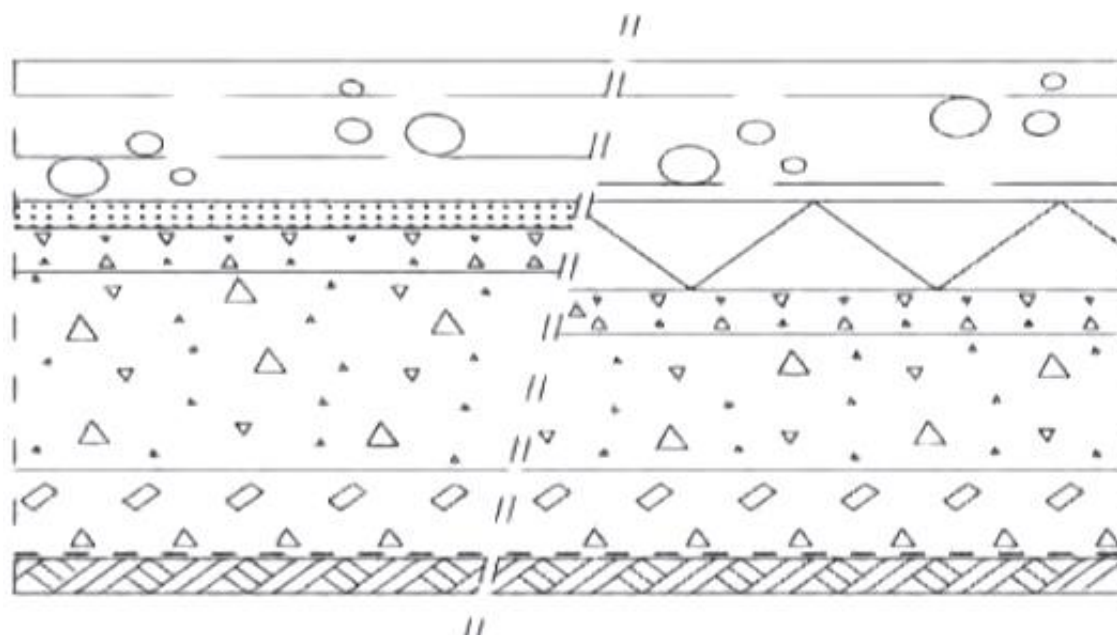
Maanvaraisissa betonilattioissa on usein ongelmana löytää oikeanlainen liikunta- ja kutistumissaumajako, joilla voitaisiin vähentää laatan kutistumaa ja halkeilua. Osa betonilattioissa ilmenevistä ongelmista johtuu puutteellisesta tai huolimattomasta suunnittelusta ja toteutuksesta. Suunnittelun aikana ei välttämättä valita tilan käytön kannalta sopivia materiaaleja ja rakenteita, jolloin betonilaatta saattaa halkeilla tai muuten vaurioitua.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan Pöyry Finland Oy:lle, joka on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointiyritys. Yritys on keskittynyt energiantuotannon, metsäteollisuuden, kuljetuksen ja rakentamisen palveluihin, sekä vesi- ja ympäristösektorin hankkeisiin. Yritys tarjoaa palveluita yksittäisistä suunnittelutehtävistä aina suuriin investointihankkeisiin asti.

2 Maanvaraisen betonilattian rakenne ja toiminta

Maanvarainen betonilattia on eniten käytetty lattiatyyppi, ja oikein tehtynä kestävin valinta teollisuusrakennuksien, varastojen ja myymälärakennuksien lattiaksi. Lattiat kestävät suuria kuormia ja niiden kulutuskestävyys on huomattava. Raskaasti kuormitettuja lattioita kuormitetaan erilaisilla raskailla ajoneuvoilla, trukeilla ja raskailla pistemäisillä kuormilla, kuten hyllyjen jaloilla. [1, s. 3.], [2, s. 30.], [3, s. 72.]

Betonilattia on rakennuksen käytön kannalta yksi sen tärkeimmistä rakenteista, joten sen suunnittelulla ja toteutuksella on suuri merkitys lopputuloksen onnistumiseen ja laatuun. Toimimattoman ja halkeilevan laatan korjaus tai purku on usein kallista, joten suunnitteluun ja toteutukseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Laatan paksuus, betonin ominaisuudet, raudoitusratkaisut ja saumajako vaihtelevat kohdekohtaisesti. Kuvassa 1 on esitetty raskaasti kuormitetun lattian esimerkkirakenne. [1, s. 3.], [2, s. 30.]



Kuva 1. Raskaasti kuormitetun maanvaraisen lattian esimerkkirakenne [1, s. 16].

Kuvan 1 mukaisesti raskaasti kuormitetun laatan voi toteuttaa joko lämmöneristettynä tai ilman lämmöneristettä. Betonilaatan paksuus ja raudoitus suunnitellaan sekä toteutetaan aina kohdekohtaisesti, jotta ne täyttävät lattialle asetetut laatuksiteerit. [1, s. 17.], [4, s. 3.]

2.1 Betonilaatta

Tasaisuus, kulutuskestävyys, lujuus, puhtaana pidettävyys ja hyvä ulkonäkö kuuluvat betonilattian peruslaatuvaatimuksiin. Raskaasti kuormitettujen lattioiden hinta-laatusuhteeseen kannattaa panostaa jo aikaisessa vaiheessa, koska heikkolaatuinen betonilattia on usein kalliimpi vaihtoehto rakennuksen elinkaaren aikana. [4, s. 15.], [5, s. 2.]

Betonimassan laatu on yksi tärkeimmistä asioista, johon kannattaa kiinnittää huomiota. Lujutta tulee olla riittävästi, mutta ei mielellään kuitenkaan yli C25/30 lattiarakenteissa, jos halkeiluriskiä ei haluta kasvattaa. Lujuuden valintaa määrittäviä tekijöitä ovat myös kulutuskestävyys, rakenteeseen vaikuttavat kuormat ja käyttö tarkoitus. [1, s. 18.]

Lujuuden ohella kannattaa massan laadussa huomioida muun muassa notkeusluokka ja kiviaineksen koko. Suuri kiviaineksen koko pienentää rakenteen kuivumiskutistumaa ja halkeiluriskiä, minkä vuoksi laattoihin käytettävä maksimiraekoko suositellaan olevan jopa 32 mm ja suositeltava notkeusluokka lattiabetonille on S2. Tällöin massa pysyy koossa, leviää hitaasti ja vaatii tiivistykseen täytyksen. Notkeammat massat lisäävät halkeiluriskiä ja korostavat jälkihoidon merkitystä. [1, s. 18.], [6.]

Oikein tehty jälkihoito edesauttaa laadukkaan halkeilemattoman betonilaatan toteutuksessa. Jälkihoito tulisi aloittaa jo laatan valun yhteydessä, heti pinnan hierron jälkeen. Betonin pinta pidetään kosteana ja peitettynä, jolloin vältetään plastinen halkeilu. [7.], [8.]

Maanvaraisen laatan oikeanlainen toimita vaatii, että kaikki sitä ympäröivät rakenteet tai niiden osat toimivat yhdessä oikein. Esimerkiksi laatan alapuoliset maa-ainekset tulee valita kohteeseen sopivaksi. Maa-aineksiin ei saa kertyä haitallista kosteutta, niiden kantavuuden tulee olla riittävä ja ne eivät saa routia. Lämmöneristekerroksella tulee myös olla riittävä kantavuus- ja eristävyyskyky. [9, s. 2.]

2.2 Betonilattian alusta ja sen ominaisuudet

2.2.1 Lämmöneriste

Maanvaraisessa lattiassa routaeristeenä tulee käyttää lämmöneristettä, joka soveltuu ominaisuuksiltaan käytettäväksi laatan alapuolella. Routaeristeen käyttö ei ole välttämätöntä, jos maaperä on routimatonta. Yleisesti ottaen pienehköissä rakennuksissa pidetään suositeltavana maanvaraisen lattian alapuolista lämmöneristystä, koska normaaleissa lämmitetyissä tiloissa lämpövirran suunta on alaspäin. Tällöin tila ei pääse kylmentymään eikä kosteus pääse betonilaattaan. [1, s. 17.], [4, s. 23.]

Erityisesti pinta-alaltaan suurissa rakennuksissa ei saavuteta suurta hyötyä lattian lämmöneristämiseksi, koska lämpötila tasaantuu lattian alla nopeasti lämmityksen käyttöönoton jälkeen. Laajoissa rakennuksissa, joissa ei ole käytetty lämmöneristettä, ulko-reunat jäävät usein kylmäksi. Tällöin reuna-alueelle tulisi sijoittaa lämmöneristeet pystysuunnassa sokkeleiden pintaan. [2, s. 30.]

Laatan alapuolinen lämmöneristäminen saattaa aiheuttaa betonilaatan käyristymistä reuna- ja nurkka-alueilla. Käyristyminen aiheutuu lattian kosteuseroista ala- ja yläpinnan välillä, koska lattia kuivuu yläpinnasta nopeammin kuin alapinnasta. Tällaisissa tapauksissa käyristymistä voidaan välttää sijoittamalla rauditus laatan keskilinjan yläpuolelle. [6.]

Lämmöneristeen paksuus määräytyy voimassa olevien määräyksien mukaan ja sen valintaan vaikuttavat lattiaan kohdistuvat kuormitukset. Raskaasti kuormitettujen lattioiden lämmöneristeen vaarana on puristuslujuuden ylitys pistekuorman vaikutuksesta, etenkin lattian saumojen kohdalla, missä kuorman vaikutukset ovat suurimmillaan. Puristuslujuuden ylittyminen aiheuttaa eristeen kokoonpuristumista, joka aiheuttaa betonilaatalle lisärasitusta ja halkeilua. [1, s. 17.], [4, s. 23.]

Lämmöneristeiden puristuslujuusarvot eroavat paljon riippuen materiaalin valmistustavasta ja eristeen tiheydestä. Esimerkiksi maanvaraisissa lattioissa eniten käytetty eriste, EPS-eriste, kestää pitkäaikaista kuormitusta $15\ldots140 \text{ kN/m}^2$ 2 % kokoon puristumalla ja kimmokerroin vaihtelee välillä $2\ldots15 \text{ kN/m}^2$. Lämmöneristeen paksuuden kasvaessa tulee sen lujuuden olla myös suurempi, jotta painauma ei kasvaisi. [4, s. 23.], [10.]

2.2.2 Perusmaa, täyttömateriaali ja salaojituseros

Maanvaraiselle lattialle on tehtävä mahdollisimman tasainen ja painumaton pohja perusmaalla, jotta saadaan luotua hyvä perusta täyttömaalle. Täyttömaan tiivistys pienentää ja tasoittaa rakenteen kuormituksesta aiheutuvia muodonmuutoksia sekä vähentää maan jälkitiivistymistä. Suuret korkeusvaihtelut täyttökerroksissa aiheuttavat lattian epätasaisen painumisen, jonka seurauksena lattia usein vaurioituu. Täyttömaata tiivistäessä on tärkeää huomioida, ettei perusmaa pääse routimaan, koska myöhemmin roudan sulaessa voi syntyä suuria painaumuksia. [1, s. 16, 45.], [4, s.21.]

Perusmaan ja täyttömaan väliin sijoitetaan suodatinkangas, jos perusmaa on savea tai silttiä, jotta hienojakoinen perusmaa ei sekoitu täyttömaan kanssa. Ennen täyttämistä perusmaan pinnasta tulee poistaa kaikki humuspitoinen maa-aines sekä kivet ja lohka-reet. Täyttömateriaalina on oltava routimatonta ja karkearakenteista murskettä tai louhettä. [1, s. 16, 45.], [11.]

Salaojakerros toteutetaan sepelikerroksella, jonka paksuuden tulisi olla yli 250 mm ja raekoon 6-32 mm. Salaojakerros ja sen alla olevat maakerrokset tulee tiivistää huolella. Sepelikerros toimii kapillaarikatkona, jonka tehtävänä on kuivattaa ja tuulettaa alapohjaa. Pohjarakennesuunnittelija määrittelee kohteen täytön tiiveyden ja kantavuuden sekä alustaluvun yhteistyössä rakennesuunnittelijan kanssa. [1, s. 16, 44.], [2, s. 30.]

Talvella rakentaessa on panostettava täyttömateriaalien laatuun, jotta saadaan onnistunut lopputulos. Täyttömateriaalit eivät saa sisältää jäätä, lunta tai hienoaainesta, jotka saattaisivat aiheuttaa maa-aineksen pakkaantumisen kylmissä olosuhteissa. Maan tulee olla kuivaa, jotta jäätynyt vesi ei aiheuta ongelmia tiivistysvaiheessa. Jäätynyt ja huonosti tiivistetty maa painuu sulettuaan, aiheuttaen vauriota, jotka voivat ilmetä vasta myöhemmin. [1, s. 46.]

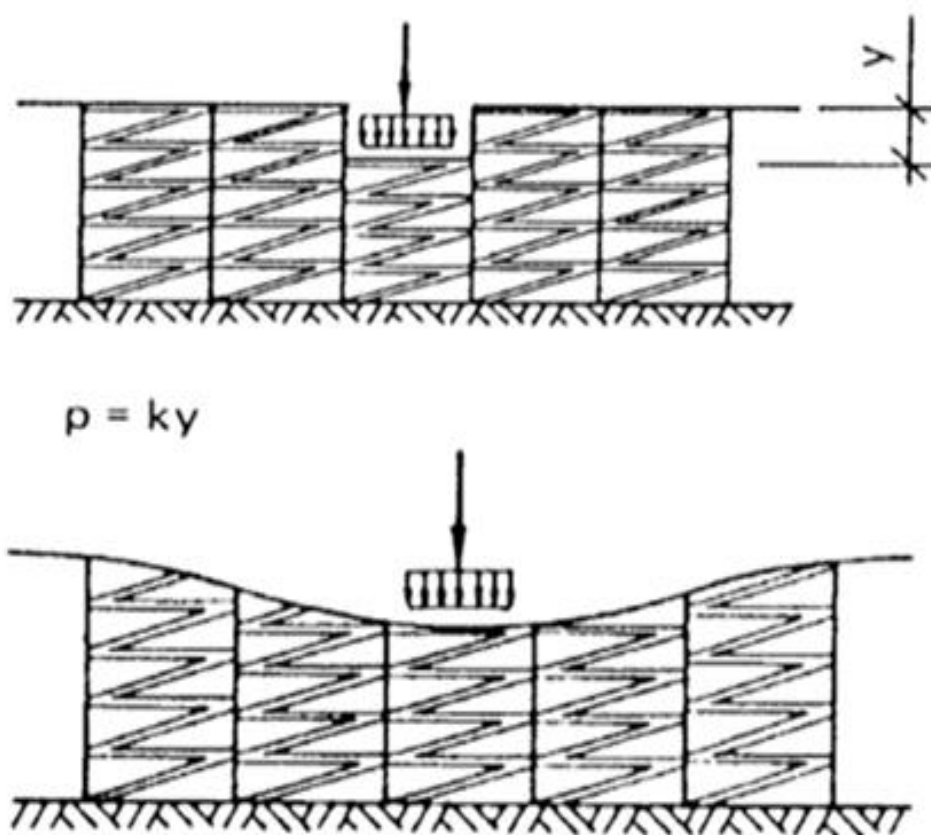
2.3 Alustan mitoitus

Laatan alustan hyvä kantavuus ja riittävä tiivistys ovat tärkeitä, ettei painumia tapahtuisi laatan valmistumisen jälkeen. Alustan tulee kestää mahdollisen betoniauton painoa, jotta auton renkaiden aiheuttamat painaumat jäisivät mahdollisimman pieniksi. Heikosti kantavilla alustoilla maanvastainen lattia tulee valaa paalujen varaan. [12, s. 11, 71.]

Maanvaraisen lattian maa-aineksien tiiveys- ja kantavuusmittaukset tehdään rakentamisen aikana. Mittaukset voidaan suorittaa pudotuspainomittauksella tai levykuormituskokeella. Mittauksien laajuuden ja menetelmän päättää pohjarakennesuunnittelija. [1, s. 47.], [12, s. 68, 71.]

Alustaluku

Maanvaraisen betonilattian mitoituksen perustana on alustan kantavuus, jota kuvataan k -arvolla. Alustalukumenetelmistä tiedetyimpiä ovat Winklerin alustamalli ja Vlasovin alustamalli (kuva 2). Winklerin malli koostuu toisistaan irti olevista jousista, kun taas Vlasovin mallissa jousien välissä on kimmoiset siteet. Vlasovin malli on malleista tarkempi, koska se kuvaa todennukaisemmin alustan toimintaa. [4, s. 19.]



Kuva 2. Yllä Winklerin ja alla Vlasovin alustan mekaaninen malli [4, s. 19].

Monimutkaisempaa Vlasovin mallia käytetään usein koneella laskettaessa. Yksinkertaisempi Winklerin malli soveltuu käsilaskentaan. [4, s. 19.]

Kerroksellisen rakenteen (kuva 3) alustaluku k :n suuruus voidaan arvioida kaavasta 1:

$$k = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2} + \dots + \frac{h_n}{E_n} + \frac{1}{k_m}} \quad (1)$$

h_i on alustan eri kerrosten paksuus [m]

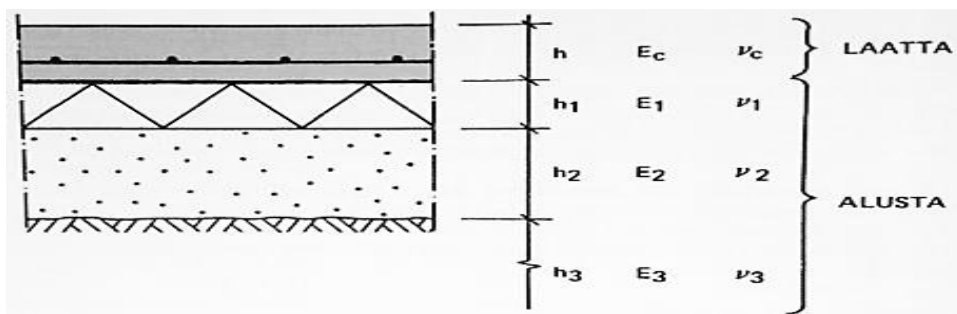
E_i on alustan eri kerrosten kimmomoduuli [MN/m²]

k_m on perusmaan alustaluku [MN/m³]. Perusmaalla tarkoitetaan tässä häiriintymätöntä maapohjaa tai paksua, noin 1,0 m, tiivistettyä täyttöä.

[4, s. 19.]

Kerroksellisen rakenteen alustalukua ei voida tarkasti määrittää. Sen suuruus riippuu alustakerroksien ominaisuuksista, laatan jäykkyydestä ja kuorman vaikutuspinta-alasta.

[12, s. 16.]



Kuva 3. Useasta kerroksesta koostuva maanvaraisen lattian alusta [12, s. 66].

Lattian alla käytetty eriste heikentää alustan kantavuutta, jos siihen kohdistuu piste-kuormia. Tämä edellyttää paksumman laatan ja vahvemman raudituksen valitsemista.

[2, s.30.]

3 Halkeilu

Betoninlattian halkeilua tarkastellessa on tärkeä tuntee betonin ja teräksen perusominaisuudet halkeilun kannalta. Betonin ominaisuuksista tärkeimpiin kuuluu betonin alhainen vetolujuus. Betoniin kohdistuvat vetojännitykset otetaan vastaan raudoituksella, jolla on päinvastaisesti suuri vetolujuus. Betonin vetolujuuden ylittymisen aiheuttaa

usein estetty kutistuma, ulkoiset kuormat tai lämpötilaero, jotka aiheuttavat rakenteen halkeilun (kuva 4). [13, s. 2.], [14.]



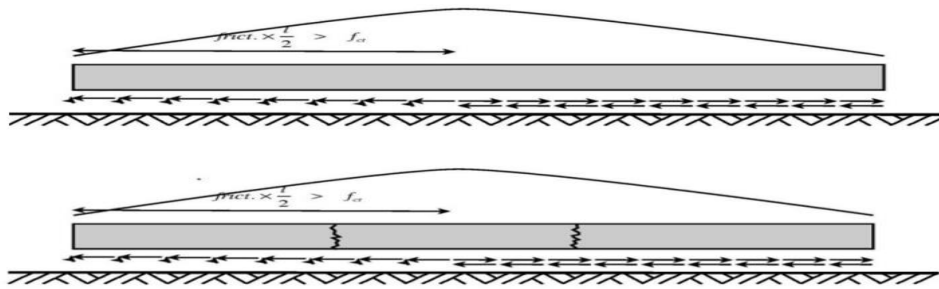
Kuva 4. Halkeillut betonilattia [15, s. 1].

Betonin halkeilua ei voida kokonaan estää, eikä kaikki silmin havaittava halkeilu ole rakenteellisesti haitallista. Betonin pinnalta mitatut yli 0,05 mm levyiset halkeamat voidaan laskea halkeamiksi. Halkeilu on erityisen haasteellista betonilattioissa, koska halkeamat erottuvat selvästi ja saattavat haitata kulkuneuvojen, kuten trukkien, käyttöä. [12, s. 23.], [16.], [17, s.1.]

Pistekuorma aiheuttaa usein laatan alapintaan halkeamia, jotka eivät välittömästi näy yläpinnassa. Ylä- ja alapinnan suurehkot halkeamat aiheuttava rakenteen heikentymistä sekä alentavat vetokuormituskestävyyttä, jolloin varsinkin varhaisessa vaiheessa syntyneet halkeamakohdat toimivat alkuna kutistuma-halkeamille. [4, s. 32.]

3.1 Kutistuminen

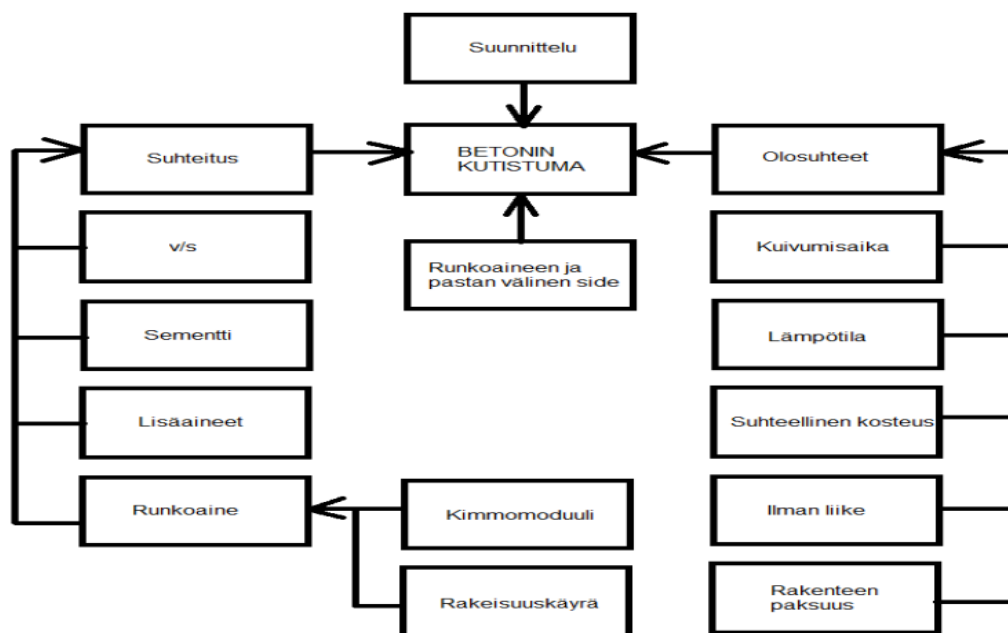
Betonin perus materiaaliominaisuuksiin kuuluu kutistuminen, jota voi tapahtua betonin ollessa plastisessa eli notkeassa tilassa tai myöhemmin betonin ollessa jo kovettunutta. Betoni kutistuu kovettuessaan noin 0,5-0,8 mm/m. Kutistuman suuruus riippuu betonin laadusta ja kosteusolosuhteista. Kutistuminen ei ole itsessään haitallista, mutta kutistumaa estäessä syntyy vetojännityksiä, jotka saattavat ylittää betonin senhetkisen vetolujuuden ja aiheuttaa halkeilua. Kitkavoiman aiheuttamien vetojännityksien ollessa pienempiä kuin betonin vetolujuus ei rakenteeseen synny halkeamia (kuva 5), mutta vetojännityksen ollessa suurempi kuin betonin vetolujuus rakenne pääsee halkeilemaan. [12, s 10.], [13, s. 2.], [17, s.1.], [18, s. 1.], [19, s. 33.]



Kuva 5. Laatan halkeilu kitkavoiman vaikutuksesta [12, s. 10].

Kuivumiskutistumisen aikana betonissa tapahtuu veden poistumista tai siirtymistä pienemmistä huokosista suurempiin huokosiin. Betonimassoissa, joissa käytetään suuria määriä sementtiä, tapahtuu voimakas hydrataatioreaktio eli kovettumisreaktio, joka tapahtuu veden ja sementin välillä. Hydrataatioreaktion seurauksena reaktiotuotteiden tilavuudet ovat pienempiä kuin sen lähtötuotteet, mikä aiheuttaa muutoksia betonin dimensioihin. [17, s. 1.], [20.]

Kutistumaan vaikuttavat tekijät (kuvio 1) voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin. Sisäisiä tekijöitä ovat muun muassa aineiden suhteutus, vesisementtisuhte, sementti, lisäaineet ja runkoaineet. Ulkoisia tekijöitä, jotka vaikuttavat kutistumaan, ovat muun muassa olosuhteet, kuivumisaika, lämpötila, suhteellinen kosteus, ilman liikkeet ja rakenteen paksuus. Myös jälkihoito voidaan laskea ulkoiseksi tekijäksi. [15, s. 5-8.]

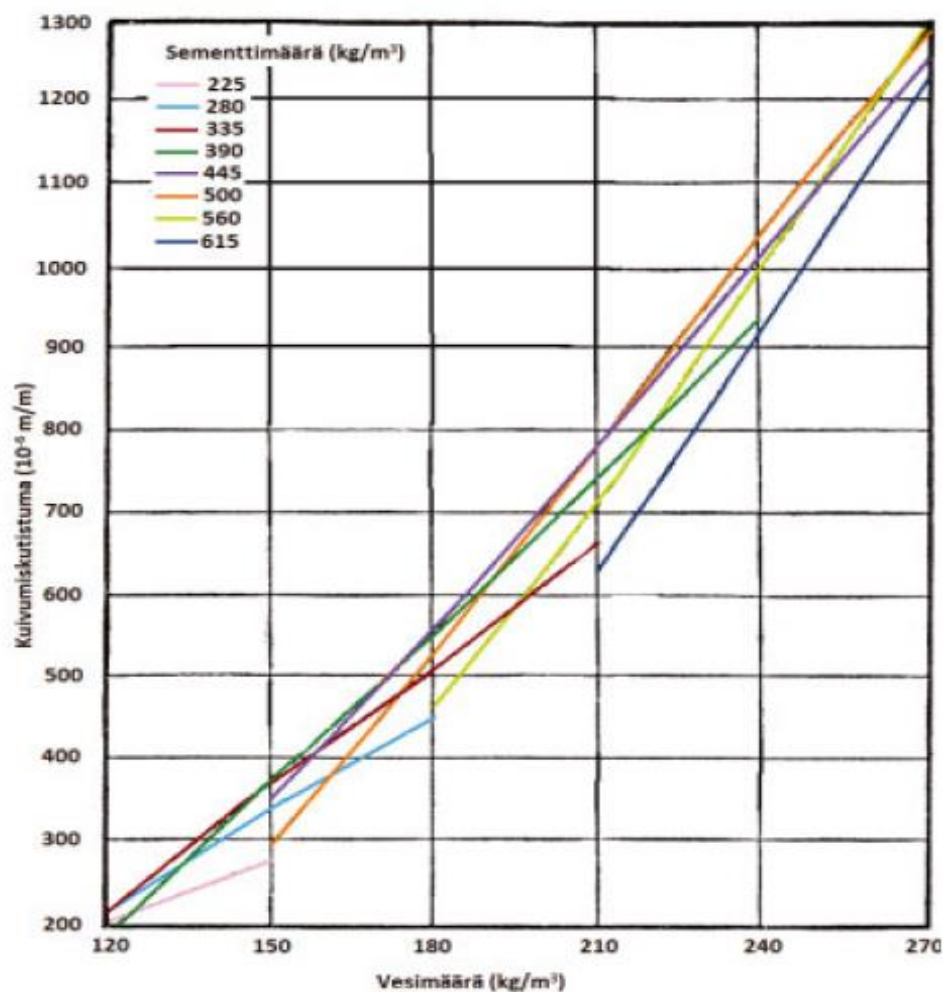


Kuvio 1. Kutistumaan vaikuttavia tekijöitä [15, s. 3].

Kutistumaan vaikuttavat tekijät vaikuttavat myös oleellisesti halkeilun ajankohtiin. Esimerkiksi liiallinen veden määrä ja sen haihtuminen lisää ensimmäisen vuorokauden aikana tapahtuvaa kutistumista ja halkeilua. [15, s. 3.]

Nykyään betonimassoissa käytävä vesimäärä on noin 200-240 l/m³. Vesimäärän tulisi kuitenkin olla alle 200 l/m³, jotta massa ei halkeilisi. Ihanteellisena määränä vedelle voidaan pitää 170 l/m³ ja sementille 260-280 kg/m³, jolloin kutistuvan betonipastan määrä on vähäinen. Betonin työstettävyyttä voidaan parantaa erilaisilla notkistimilla, joilla voidaan vähentää liiallisen veden määrää betonissa. [21, s. 56-58.]

Suuri vesimäärä kasvattaa kuvion 2 mukaisesti betonin kutistumaa. Suurentunut vesimäärä ja vähentynyt kiviaineksen määrä kasvattavat kutistuman suuruuden jopa yli 1 mm/m, kun tavoiteltava kutistuman suuruus tulisi olla enintään 0,8 mm/m. [21, s. 58.]

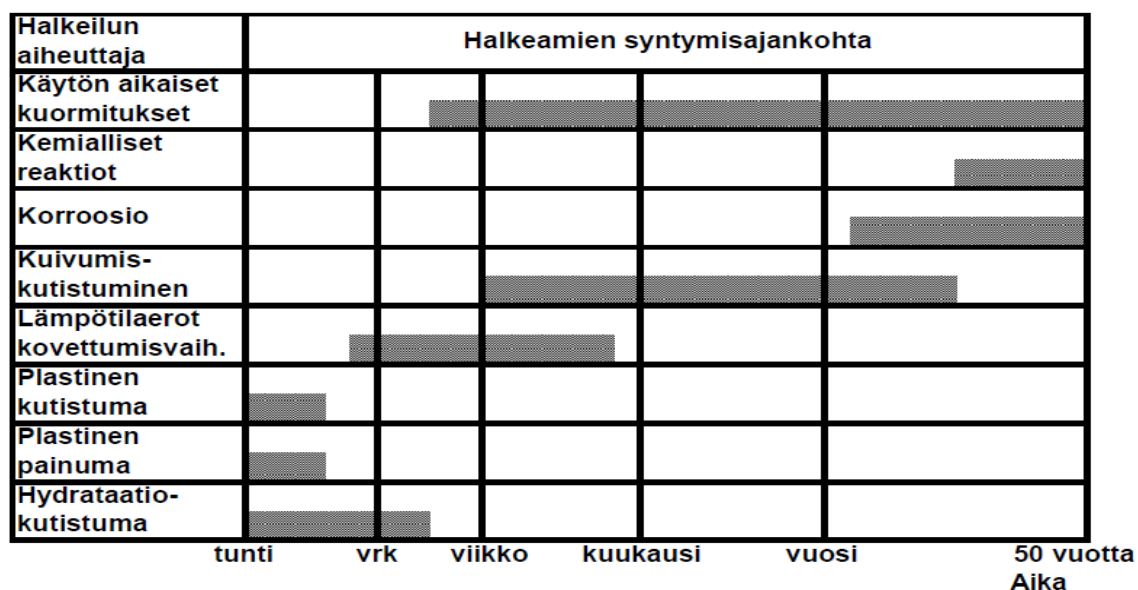


Kuvio 2. Vesimäärän vaikutus kutistumaan [21, s. 58].

Vaikka betonin kutistumista ja siitä mahdollisesti johtuvaa halkeilua ei voida kokonaan estää, niin sitä voidaan hallita oikeanlaisella suunnittelulla ja toteutuksella. Halkeilua voi aiheuttaa myös muut tekijät kuin kutistuminen. [21, s. 58.]

3.2 Halkeilun ajankohdat

Betonin kutistuminen voidaan jakaa varhaisessa ja myöhäisessä vaiheessa tapahtuvaan kutistumiseen. Varhaisessa vaiheessa tapahtuvan halkeilun aiheuttajia ovat: hydrataatiokutistuminen, plastinen kutistuminen ja plastinen painuminen. Plastiseen painumaan voidaan vaikuttaa betonin massan valinnalla ja jälkitäytyksellä. Myöhemmässä vaiheessa halkeilua aiheuttavat muun muassa kuormitukset, kuivumiskutistuminen, lämpötilaerot kovettumisvaiheessa sekä kemialliset reaktiot ja korroosio. Kuviossa 3 on esitetty tarkemmin halkeilun aiheuttavia tekijöitä ja niiden ajankohdat. [17, s. 2.], [18, s. 2.] [22, s. 52-53.], [23.]



Kuvio 3. Tekijöitä, jotka aiheuttavat halkeilun ja ajankohdat, jolloin ne syntyvät [17, s. 2].

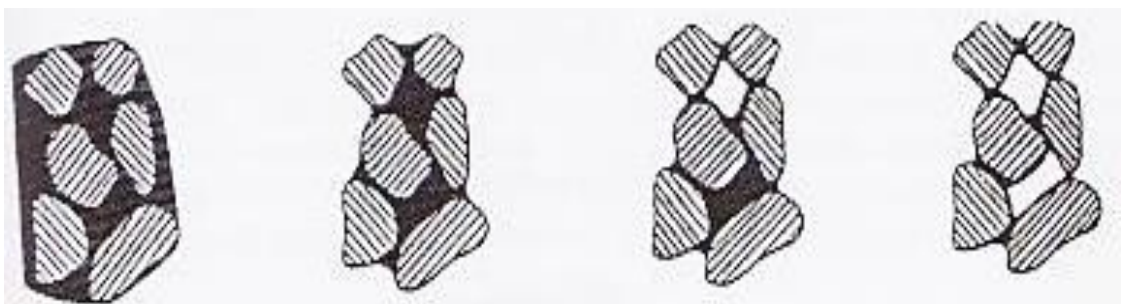
Varhaisvaiheen kutistuminen alkaa heti valun loputtua ja jatkuu noin 24 tuntia. Varhaisen vaiheen kutistumisen suuruuteen vaikuttaa veden haihtuminen betonin pinnalta ja betonin sitoutumisaika. Varhaisessa vaiheessa tapahtuva kutistuminen voi olla jopa kymmenen kertaa suurempi kuin myöhäisessä vaiheessa tapahtuva kutistuminen. Kutistumista pienentää huomattavasti heti hierron jälkeen aloitettava jälkihoito. [18, s. 2.], [22, s. 52-53.]

Pitkäaikainen kutistuminen, joka otetaan huomioon rakenteiden suunnitteluvaiheessa, alkaa heti varhaisvaiheen eli ensimmäisen vuorokauden jälkeen. Pitkäaikaiseen kutistumaan ei voida vaikuttaa ensimmäisen päivän jälkihoidolla. Myöhemmällä jälkihoidolla voidaan hallita paremmin halkeamien, taipumien ja käyristymien suuruuksia. Pitkäaikaisen kutistuman suuruus vaihtelee välillä 0-1 mm/m. Kutistumasta noin 80 % tapahtuu muutaman ensimmäisen kuukauden aikana riippuen rakenteen paksuudesta. Osa kuivumiskutistumismuodonmuutoksesta pääsee palautumaan, jos kutistunut ja kuivunut betoni kastuu uudelleen, jolloin sen dimensiot jälleen suurenevat. [17, s.1-2.], [18, s. 2.], [22, s. 52-53.]

3.2.1 Tuore betoni

Vasta valettu betoni on erittäin altis olosuhteille ja vaurioitumiselle. Tuoreessa betonimassassa voi tapahtua aineiden erottumista, jolloin painovoiman seurauksena kiinteät aineet painuvat alas ja vesi kevyempänä aineena nousee ylös. Vettä alkaa haihtua sopivissa olosuhteissa ja betonirakenne on altis pinnan liialliselle kuivumiselle sekä kutistumiselle, jolloin rakenteeseen muodostuu vetojännityksiä ja siihen voi syntyä plastisen vaiheen kutistumishalkeamia. Pintaan ei pääse erottumaan juurikaan vettä, kun sementti on sitoutunut. Sitoutunut sementti estää kiinteiden aineiden painumisen alaspäin. [17, s. 3.]

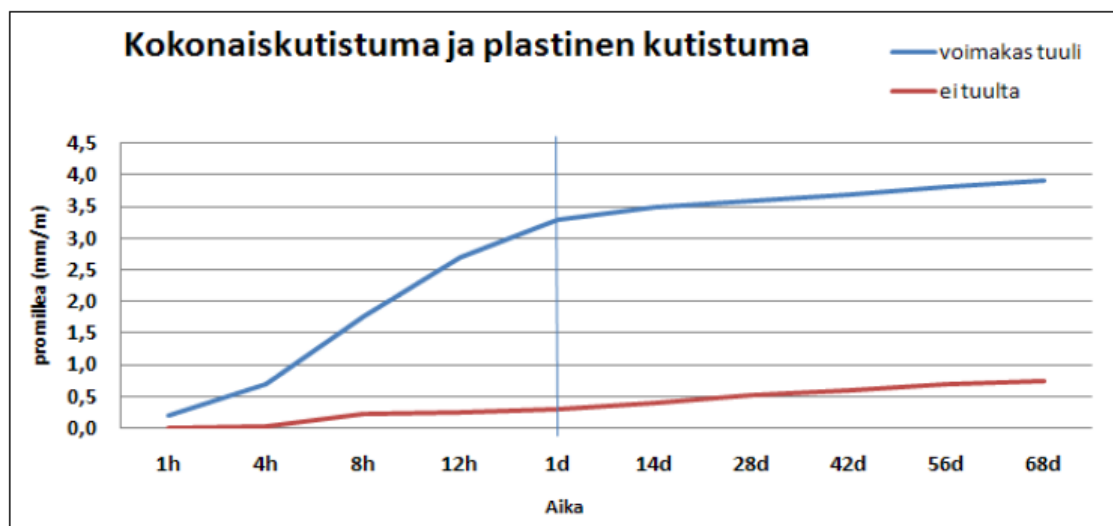
Plastinen kutistuminen on kutistumisista suurinta, joten sen hallitseminen ja rajoittaminen on tärkeää. Veden haihtumisen seurauksena betonimassan pienimmät hiukkaset ajautuvat lähemmäksi toisiaan (kuva 6). Kutistumisen riski pienenee huomattavasti, kun betonimassa on sitoutunut ja sen pinta on sulkeutunut. [16, s. 73.], [18, s. 2.], [22, s. 52-53.]



Kuva 6. Plastinen kutistuma [16, s. 73].

Plastisen kutistumisen synnyttämät halkeamat usein hierretään piiloon, mutta myöhemmin halkeamat kasvavat ja tulevat näkyviin kuivumiskutistuman kasvaessa. Huomioimalla valun aikana ja sen jälkeen vaikuttavat olosuhteet voidaan plastisen kutistuman osuutta pienentää. [18, s. 2.]

Olosuhteet ovat iso riskitekijä betonimassalle: voimakas tuuli ja kuuma kesäsää aiheuttavat nopean veden haihtumisen, kun taas tuulen ja kylmän sään seurauksena haihtuminen kestää pitkään, koska betonimassa ei pääse sitoutumaan. Kummassakin olosuhteissa on suuri riski, että betoni pääsee halkeilemaan. Kuviossa 4 nähdään, miten tuuli vaikuttaa rakenteen kokonaiskutistumiseen eritoten ensimmäisen vuorokauden eli plastisen kutistumisen aikana. [18, s. 2.], [24, s. 8.]



Kuvio 4. Tuulen vaikutus kokonais- ja plastisen kutistuman syntymiseen ja suuruuteen [18, s. 2].

Plastinen kutistuma voidaan pienentää tai estää suojaamalla betonin pinta heti tasauksen jälkeen varhaisjälkihoitoaineella tai kostealla kankaalla. Hierron jälkeen pinta suojataan varsinaisella jälkihoitoaineella, muovilla, kostealla kankaalla tai lisäämällä kevyt vesisumu pinnoille. Jälkihoitoaine määräytyy vallitsevien olosuhteiden mukaan: tuulisella säällä tulee käyttää vahvempaa jälkihoitoainetta kuin tuulettomalla säällä. [18, s. 2.]

Plastisessa painumassa vesi nousee ylös ja betonimassan kiinteät aineet painuvat alas, mikä aiheuttaa eritoten raudoituksen kohdalla halkeilua (kuva 7). Tämä voidaan ehkäistä betonimassan valinnalla ja huolellisella jälkitäytytyksellä. Siihen voidaan vaikuttaa myös käyttämällä kohtuullista notkeusluokkaa S2-S3. [18, s. 2.]



Kuva 7. Plastinen painuma [16, s. 72].

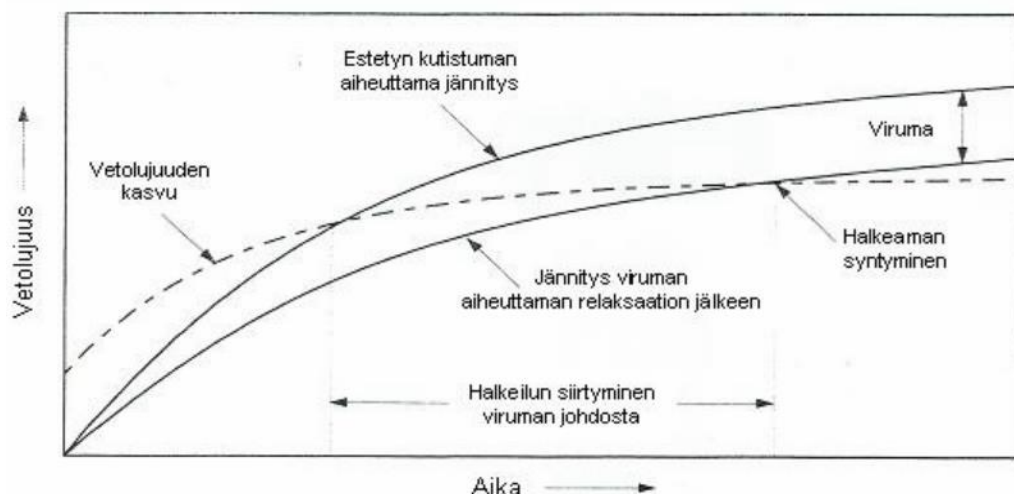
Jos ensimmäisen vuorokauden aikana syntyneet halkeamat ovat edenneet syvemmälle kuin raudoitukseen asti, ne ovat plastisen kutistuman aiheuttamia halkeamia. Jos halkeamat ovat edenneet vain raudoitukseen asti, ne ovat plastisen painuman aiheuttamia halkeamia. Halkeamat voivat myöhemmin edesauttaa halkeamien kasvamista tai aiheuttaa uusia halkeamia rakenteeseen. [17, s. 4.]

Plastisessa vaiheessa ja sen jälkeen betonimassa alkaa sitoutua, jolloin siihen alkaa muodostua lujuutta ja betonissa alkaa tapahtua sitoutumiskutistumista eli hydrataatio-reaktio. Tuoreessa betonissa tapahtuva kutistuminen on yhteisvaikutus sitoutumiskutistumasta, plastisesta kutistumasta ja -painumisesta. Hallitsevaan kutistumatyyppiin vaikuttavat betonimassa, rakenne ja kuivumisolosuhteet. [17, s. 5.]

3.2.2 Kovettuva ja kovettunut betoni

Betoni pyrkii kovettuessaan kosteustasapainoon ympäristön kanssa, jolloin betonissa oleva vesi pyrkii haihtumaan. Mitä enemmän betonissa on vettä, sitä enemmän haihtumista tapahtuu. Kuivuminen ja kutistuminen eivät yksinään aiheuta ongelmia betonirakenteeseen. Ongelmia alkaa ilmaantua silloin, kun kutistuma on estetty ja syntyvät jännitykset ylittävät betonin lujuuden, jolloin rakenne alkaa halkeilla. [17, s. 10.]

Betonin vetoviruma on ulkoisesta kuormituksesta aiheutuvaa muodonmuutosta. Vetoviruma pienentää alussa kutistumisen aiheuttamia vetojännityksiä ja on oleellisia tekijöitä halkeilun hallinnassa. Vetoviruman ja halkeilun hallinnan kannalta on tärkeää, että muutokset, kuten kuivuminen ja lämpötilamuutokset, tapahtuvat hitaasti ja rauhallisesti, koska viruminenkin tapahtuu hitaasti. Kutistuman tapahtuessa kasvaa myös vetojännityksen suuruus. Vetojännitykset pienenevät vetoviruman ansiosta (kuvio 5). Varhaisessa vaiheessa betonin vetoviruman suuruus on huomattava, mutta ajan kuluessa vetoviruminen pienenee. [5, s. 9.], [12, s. 149.], [17, s. 10.], [25, s.13.]



Kuvio 5. Viruman vaikutus jännityksiin ja vetojännityksien kehittyminen kuivumiskutistumisen ollessa estetty [25, s. 14].

Kuvion 5 mukaisesti viruma siirtää halkeiluajankohtaa myöhemmäksi pienentämällä jännitystä. Vetoviruman merkitys vähenee ajan kuluessa, joten jännitykset lisääntyvät ja betoni pääsee helpommin halkeilemaan. Tästä johtuen onnistuneet lattiat saattavat halkeilla vasta vuosien kuluttua valusta. [12, s. 149-150.]

3.3 Halkeilun rajoittaminen

Halkeilua voidaan vähentää etukäteen hyvin laadituilla suunnitelmilla ja toiminnoilla valun aikana. Valuja suunnitellessa ja tehdessä on tärkeää muistaa realistinen aikataulu, oikeat valuolosuhteet ja hinta-laatusuhde. [5, s. 2.], [15, s.14.]

Hitaasti tapahtuvan kutistumisen seurauksena rakenteen vetojännitykset kasvavat hitaasti, jolloin halkeiluriski pienenee. Pitkäaikaiskutistumaa voidaan vähentää massan koostumuksella: käyttämällä pientä pastamäärää ja suurta runkoaineksen maksimiraekokoa. [12, s. 149.], [22, s. 52-53.]

Varhaisvaiheen kutistumaa voidaan vähentää keskeisesti työmaatoteutuksen avulla. Ensisijainen keino on ehkäistä veden liiallista haihtumista betonin pinnalta. Etenkin lattiarakenteissa vettä haihduttava pinta-ala on suuri suhteessa kokonaismassaan. Veden haihtumisissa otetaan huomioon valuolosuhteet kuten tuuli, lämpötila ja kosteus sekä riittävän aikaisella ja oikean suoritettulla jälkihoidolla. Tuulisissa olosuhteissa tulisi käyttää tuulisuojia ja aurinkosuojia aurinkoisina kesäpäivinä lämpötilan laskemisen vuoksi. [22, s. 52-53.], [26, s. 37.]

Lattiavaluissa tulisi olla mahdollisimman hyvät olosuhteet. Ilman lämpötilan pitäisi olla mahdollisimman stabiili (+15...+20 °C) vähintään kolme vuorokautta. Lattia tulee valaa aina riittävän lämpimälle alustalle (+5 °C). Liian viileä alusta hidastuttaa sitoutumista, joka siirtää pinnan hiertämistä myöhemmäksi. Kylmä alusta aiheuttaa valun alaosan jäätyksen, jolloin se pääsee sitoutumaan hitaammin kuin pintakerros. Hiertämisen aikana pohjakerroksen sitoutumaton betonimassa pääsee elämään eikä se kestä hierrosta johtuvaa rasitusta. Jos pinta hierretään väkisin, sen alta voi nousta pintaan vettä, joka saattaa jäädä rakkuloiksi lattian pinnalle. [22, s. 52-53.], [27.]

Halkeilu ei saa heikentää rakenteen toimivuutta, säilyvyyttä tai ulkonäköä. Halkeamaleveys voidaan laskea tai halkeilua voidaan rajoittaa taulukkomitoituksella liitteen 1 mukaan. [28.]

4 Maanvaraisen lattian suunnittelu

Betonilaatan mitoittaminen perustuu alustan kantavuuteen ja kuormituksissa mitoittavana kuormana käytetään pistekuormaa. Pistekuorma annetaan usein yksittäisenä kuormana, vaikka lähekkäin olevat hyllyn jalat aiheuttaisivat suuremman mitoittavan kuorman. Lattioita mitoittaessa on tarkasteltava ajoneuvoista aiheutuvat dynaamiset kuormat. [1, s. 43.], [2, s.30.], [29.]

Suunnittelussa on tärkeää huomioida laatan alustan riittävä geotekninen kantavuus, joka kestää kohtuulliset käytöstä aiheutuvat muodonmuutokset. Maanvaraisen laatan suunnitellun lähtökohtana on usein se, ettei laatan alla oleva maa pääse painumaan. Jos maaperä on hienorakeista eli savea tai silttiä, voi laattaan kohdistua pitkäaikaisia painaumia. Tällöin laatta tulisi suunnitella paaluilla tuettuna teräsbetonilaattana. [1, s. 43.]

4.1 Laatuvaatimukset ja pintavalu

Suunnitteluvaiheessa ei voida tarkasti huomioida toteutukseen liittyviä tekijöitä, kuten olosuhteita ja tekijän kokemusta lattioiden toteutuksesta, joilla on merkittävä vaikutus lopputuloksen onnistumiseen. Onnistuneen lopputuloksen takia kaikilla osapuolilla tu-

lee olla tieto kohteen laatuvaatimuksista ja lattian käyttötarkoituksesta sekä pinnoitus- tai päällystysvaihtoehdosta. [12, s. 162.]

Laatuvaatimukset voidaan määrittää tasaisuuden ja kulutuskestävyyden perusteella haluttuihin luokkiin. Taulukossa 1 on esitetty tasaisuusluokat ja esimerkkejä, kuinka ne saavutetaan maanvaraisissa lattioissa. Pyrittäessä tasaisuusluokkaan A₀ on suositeltavaa valaa ohut pintakerros maanvaraisen lattian päälle. [12, s. 164.]

Taulukko 1. Esimerkkejä tasaisuusluokan saavuttamiseksi

| Tasaisuusluokka | Esimerkkejä tasaisuusluokan saavuttamisesta |
|------------------------|---|
| C-luokka | - Yhtenä kerroksena tehtävissä laatoissa huolellinen pinnan viimeistely ja tiivistys täryttämällä |
| B-luokka | - Yhtenä kerroksena $h \leq 300$ mm tehtävissä laatoissa tiivistys täryttämällä sekä huolellinen pinnan viimeistely ja oikaisu |
| A-luokka | - Yhtenä kerroksena $h \leq 150$ mm tehtävissä laatoissa tiivistys täryttämällä sekä huolellinen pinnan viimeistely - Laatan paksuuden ollessa ≥ 150 mm valetaan 10...20 mm pintakerros tuoretta tuoreelle -menetelmällä tai ≥ 30 mm pintakerros kovettuneen laatan päälle |
| A ₀ -luokka | - 10...20 mm pintakerros tuoretta tuoreelle -menetelmällä - ≥ 30 mm pintakerros kovettuneen betonilaatan päälle - Pintabetoni $h \leq 60$ mm |

[12, s. 164.]

Pintalattian tekeminen on haastavaa, mutta työn lopputulos on paremmin hallittavissa ja päästään helpommin haluttuihin laatuvaatimuksiin. Pintalattian tekemisessä tulee kiinnittää erityistä huomiota pintalattian ja varsinaisen laatan väliseen tartuntaan. [12, s. 151-152.]

Tasaisuusluokille on määritetty suurin sallittu tasaisuuspoikkeama (taulukko 2), jota verrataan suoraan tasoon. Mittausluokka L kuvaa taulukossa kahden pisteen etäisyyttä ja poikkeamaa tarkastellaan niiden välissä. [16, s. 407.]

Taulukko 2. Lattian suurimmat sallitut tasaisuuspoikkeamat [16, s. 407].

| Tasaisuuspoikkeama | Mittausluokka L (mm) | Suurin sallittu poikkeama (mm) | | | |
|--|-------------------------|--------------------------------|----|----|----|
| | | A ₀ | A | B | C |
| Hammastus | | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta | enintään 200 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | enintään 700 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| | enintään 2000 | 4 | 7 | 10 | 14 |
| | enintään 7000 | 7 | 10 | 14 | 20 |
| | yli 7000 | 10 | 14 | 20 | 28 |

Kulutuskestävyyteen vaikuttaa pääasiassa hierto, pinnan viimeistely, betonin koostumus ja jälkihoito. Betonilattioilta vaaditaan riittävää kulutuskestävyyttä, jota voidaan parantaa erillisellä kovabetonipinnalla tai kuivasirotteella. Kulutuskestävyysluokat jaetaan yleensä 1, 2, 3 ja 4 luokkiin. Kulutusluokka 1 on vaativin ja sitä käytetään rakennuksissa, joissa lattioihin kohdistuu raskasta laahausta tai kovien pyörien liikettä. [12, s. 164-165.]

4.2 Paksuus ja rauditus

Maanvaraisten betonilattioiden ohjeelliset paksuudet on määritelty lattian raudoitustavan mukaan:

- keskeinen rauditus 80...120 mm
- rauditus molemmissa pinnoissa > 120 mm
- kuitubetoniaatta ≥ 80 mm
- jälkijännitetty laatta ≥ 120 mm.

[2, s.30.], [4, s. 68.]

Raudoitustapaan ja -määrään vaikuttavat mitoittavat tekijät ovat usein alustan kantavuus ja laattaan kohdistuvat kuormitukset. Muita raudoitustavan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa kohteen käyttötarkoitus sekä laatan paksuus. [4, s. 68.]

Tanko- ja rullaraidoitus

Tankoraidoitus on yleisin tapa tehdä raidoitukset ja se voidaan toteuttaa käyttäen joko erillisiä tankoja tai esivalmisteltuja kokonaisuuksia, kuten raidoitusverkkoja tai rullaraidoitteita. Vaikka kohteeseen käytettäisiin valmiita raidoitteita, tulee nurkat ja reunat lisäraidoittaa liitteen 2 mukaisesti. [12, s. 73-74.]

Rullaraidoitus koostuu samansuuntaisista harjateräksistä, jotka voidaan esimerkiksi hitsata yhteen ohuilla teräsvanteilla, että saadaan toteutettua raidoitus suunnitelman mukaiset terästen välit ja sijainnit. Teräsmäärä toteutetaan momenttikäyrän mukaisesti raidoitteen eri pisteissä sekä huomioidaan lattian muodot ja aukot. Tällöin asennustyö on työmaalla mahdollisimman vähäinen. Asennusvaiheessa teräsrulla nostetaan nostimella lattian reunalle asennustukien päälle, minkä jälkeen se rullataan auki. [30.]



Kuva 8. Rullaraidoituksen asentaminen [13, s. 29].

Rullaraidoitusta suositetaan suurissa kohteissa, joissa on tiukat aikataulut. Raidoitusmenetelmä mahdollistaa ergonomisemmat työskentelyasennot (kuva 8) kuin perinteinen raidoitusmenetelmä. [30.]

Kuitubetoni

Kuitubetonilla tarkoitetaan betonimassaa, joka on vahvistettu kuiduilla perinteisen raidoituksen sijaan. Kuitujen tehtävänä on parantaa betonin lujuusominaisuuksia ja tehdä

siitä sitkeämpi sekä kestävämpi massa, jolloin halkeamavälit ja -leveydet eivät kasva liian suuriksi. Ennen betonin vetolujuutta parannettiin luonnonmateriaaleilla, kuten puulla tai oljilla, mutta nykyään materiaalina käytetään enimmäkseen terästä ja muovia. Kuitubetonia voidaan käyttää saumattomissa ja saumallisissa lattioissa sekä pintabetonoinnissa. [4, s. 61.], [31.], [32, s. 6-7.]

Maanvaraiset laatat, joissa käytetään kuitubetonia, jaetaan kutistumasaumojen avulla mahdollisimman neliönmuotoisiksi alueiksi, jolloin sivujen suhteen tulisi olla pienempi kuin 1,5. Kuitubetonilattiat voidaan tehdä myös saumattomasti, jolloin niiden halkeilu jakautuu lukuisiin hiushalkeamiin, ja syntyneet halkeamat pysyvät kasassa kuiduilla. [2, s. 32.], [4, s. 61.], [33, s. 3.]

Ohuissa kuitulattioissa yksi iso riskitekijä on poikkileikkauksen riittämätön kuitumäärä (kuva 9). Kuitumäärän ollessa riittämätön, lattia ei pysty ottamaan siihen kohdistuvia vetojännityksiä vastaan. Kuitubetonin suunnittelussa määritellään kuormat ja alustan kantavuus kuten perinteisessä raudoituksessakin. Kutistumissaumallisissa lattioissa suositeltava paksuus on 120 mm ja saumattomissa 140 mm. [2, s. 31.], [32, s. 15.]



Kuva 9. Kuitubetonirakenteen poikkileikkaus [24, s. 32].

Raudoituskuitujen tilalla voidaan käyttää synteettisiä mikrokuituja, jotka valmistetaan yleensä polypropeenista. Mikropolymeerikuituja käytetään plastisen vaiheen hallinnassa, ja makropolymeerikuituja käytetään laatoissa rakenteellisena kuituna. Mikropolymeerikuituja ei suositella käytettäväksi lattiarakenteiden ohentamiseen, raudoituksen korvaamiseen, saumajaon kasvattamiseen tai betonin kovettumisen jälkeiseen halkeilun minimoimiseen [32, s. 5.]

Jännitetty raudoitus

Jälkijännitetty maanvarainen laatta mahdollistaa lattian saumoista luopumisen lähes kokonaan ja sillä voidaan parantaa lattian pistekuormakestävyyttä. Jännitetty raudoitus mahdollistaa lattian ohentamisen verrattuna tavalliseen maanvaraiseen teräsbetonilattiaan. Jälkijännitettyihin laattarakenteisiin asennetaan jänneteräksset suojaputkissa raudoitusvaiheessa. Betonivalun jälkeen, rakenteen lujuuden ollessa riittävä, jänneteräksset jännitetään tunkkaamalla. Jännevoimat puristavat laatastoa toimien rakenteen raudoitteena. Jälkijännityksen jälkeen suojaputket injektoidaan betonilaastilla.

Injektointilaastilla parannetaan jänneteräksen ankkurointia, ja injektointilaasti toimii samalla jänneteräksen korroosiosuojana. Suojaputkissa olevien jänneteräksien sijasta voidaan käyttää myös rasvapunoksia, jännepunoksissa oleva rasva estää tartunnan betonin ja jänneteräksen välillä. Rakennetta jälkijännitettäessä jänneteräs pääsee venymään koko pituudeltaan toimien raudoitteena. [4, s. 56.]

4.3 Betonimassa

Betonimassan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sille sovitut laatuvaatimukset ja työtekniikka. Usein lattiaan käytettävä betonimassa toimitetaan työmaalle valmisbetonina. Erikoisemmat massat sekoitetaan vasta työmaalla. [4, s. 91.], [34.]

Jos lattiaa kuormitetaan normaaleilla kuormilla ja sen alustan kantavuus on riittävä, puristuslujuuden kestävyys on harvoin mitoittava tekijä, Betonin lujuutta keskeisempiä asioita onnistumisen kannalta ovat sen alhainen kutistuma ja työstettävyys. Betonimassassa huomioitavia ja vaikuttavia tekijöitä ovat:

- kiviaineksen osuus yli 35 %
- kohtuullinen vesi- ja sementtimäärä
- kohtuullinen lujuus (C25/30)
- muovi- ja teräskuitujen käyttö
- ylliraudoittaminen (vetojännityksien vastaanottaminen)
- kohtuullinen saumaväli

- kutistumista kompensoivat tai vähentävät lisäaineet.

[12, s. 131-132, 145.]

Betonimassaa valittaessa lattiarakenteisiin tulee huomioida, että valitaan kohtuullisesti lujuutta, mutta ei kuitenkaan mielellään yli C25/30. Massan ei tulisi sisältää liikaa vettä eikä sementtiä sekä maksimiraekooksi tulisi valita 32 mm, jotta pystytään minimoimaan halkeiluriskit. [5, s. 8.]

Betonimassaan lisättävillä lisäaineilla voidaan parantaa betonin ominaisuuksia, jolloin massasta saadaan notkeampaa ja valutyö helpottuu. Lisäaineet myös pidentävät betonin työstettävyyden aikaa sekä lujuus kasvaa, ja vesimäärää voidaan pienentää. Lisäaineita ovat muun muassa erilaiset notkistimet, huokostimet ja pigmentit. [35.]

Notkistimet ovat notkistavia lisäaineita, joita käytetään veden vähentämiseen ja notkeuden lisäämiseen. Notkistimien avulla betonimassan työstettävyyys tai lujuus paranee samalla kuin vesi-sementtisuhde pienenee. Lisäaineita käyttämällä voidaan rakenteen kutistumista pienentää 30...50 % verrattuna lisäaineettomaan betoniin. [26, s. 38.], [36.]

Kutistumakompensoituvissa betoneissa käytetään kutistumakompensoitua lisäainetta, joka perustuu paisuntaan. Lisäaineen johdosta betonin tilavuus kasvaa lujuuden kasvaessa, mikä tasaa kutistuman aiheuttamia vetojännityksiä. [12, s. 136.]

Massa tulee valita valuolosuhteiden mukaisesti. Viileissä olosuhteissa käytetään nopeasti kovettuvaa ja sitoutuvaa massaa, joka ei ole liian voimakkaasti notkistettuja, koska notkistimet viivyttävät massan sitoutumista kylmällä säällä. Viileissä olosuhteissa lämmin betonimassa sitoutuu nopeammin kuin normaali massa. Lämpimissä olosuhteissa tulee huomioida, että betonimassa saattaa tuottaa liikaa lämpöä, joten lämpimissä olosuhteissa tulisi suosia normaalisti sitoutuvaa massaa. [1, s. 18.], [37, s. 6.]

4.4 Kuormat

Kuormitustilanteessa rakenteeseen voi kohdistua erilaisia kuormia yhtä aikaa tai erikseen. Kuormat voidaan jakaa staattiseksi kuormaksi eli kuorma ei aiheuta kiihtyvyyserasituksia rakenteelle tai dynaamiseksi kuormaksi, joka aiheuttaa kiihtyvyyserasituksia

rakenteelle. Kuormat pitää huomioida suunnitellessa rakenneosia tai kokonaisia rakenteita. Kuormat voidaan luokitella myös tasaiseksi, viiva- tai pistekuormaksi. [38, s. 14.]

4.4.1 Tasainen kuormitus ja viivakuormat

Tasainen kuormitus

Tasainen kuormitus ei juuri aiheuta maanvaraiselle lattialle taivutusrasituksia, jos lattiaa kantava alusta on tehty tiiviiksi. Laatan mitoituksessa tulee huomioida tasaisen kuorman aiheuttama kitkavoima. [4, s. 25.]

Viivakuorma

Viivakuormia lattialle aiheutuu esimerkiksi tiiliseinistä, jolloin viivakuorman vaikutus sekä jatkuvamomentti pitää huomioida lattian reunalla ja keskellä. Viivakuorman suuruus on erityisesti huomioitava alustan tiivistyksessä. Lämmöneristetyissä lattioissa tulee huomioida lämmöneristyksen pitkäaikaskuormituskestävyys ja kokoonpuristuminen. [4, s. 25.]

4.4.2 Sysäyskuormat ja työnaikaiset kuormitukset

Sysäyskuormat

Raskaasti kuormitetuissa tiloissa tulee huomioida työkoneiden, kuten trukkien, aiheuttamat lisäkuormitukset sysäyksistä ja tärinästä. Nämä lisäkuormat huomioidaan sysäyskertoimella 1,4, jolla kerrotaan työkoneiden staattiset pyöräkuormat, kun trukissa on ilmarenkaat. Sysäyskuormat kerrotaan kertoimella 2,00, kun trukissa on umpinaiset renkaat. [4, s. 31.], [12, s. 55.]

Työnaikaiset kuormitukset

Kovettumisvaiheessa oleva betonilattia, jossa betonin lujuuden kehitys on vasta alullaan, halkeilee helposti raskaista kuormista, kuten työkoneista. Halkeamia pääsee syntymään eritoten laatan alapintaan, jolloin halkeamien aiheuttamat vauriot ovat vielä piilossa. Halkeamat ovat alkukohta kutistumahalkeamille. [4, s. 31-32.]

Ennen kuin lattiaan kohdistuu raskaita kuormituksia ($P \geq 50 \text{ kN}$), pinnan kulutuskestävyys- ja tiiveysvaatimusten tulee olla riittävän suuret. Raskaasti kuormitetuissa lattioissa betonin lujuuden tulee olla 80 % suunnittelulujuudesta, ennen kuormituksen aloitusta. Muissa tapauksissa riittää, että betoni saavuttaa 60 % suunnittelulujuudestaan. [4, s. 32]

4.4.3 Pistekuorma ja sen sijainnin vaikutus

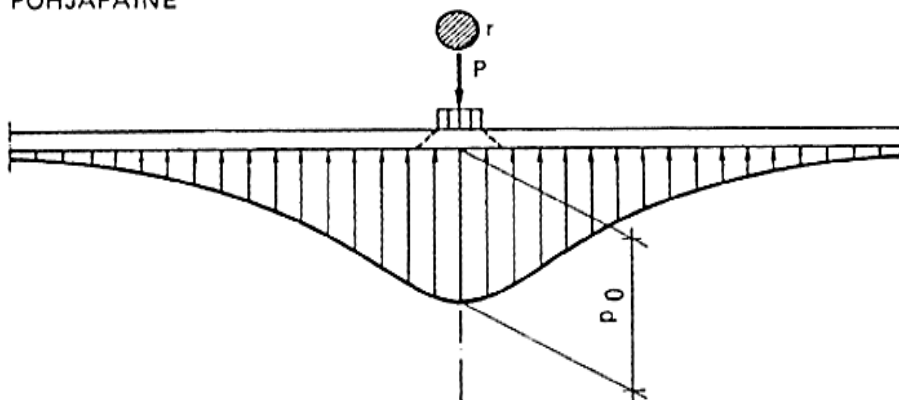
Maanvaraisen laatan mitoitus määräytyy yleensä pistekuormien mukaan. Varastojen, teollisuus- ja myymälärakennuksien lattioihin kohdistuvat pistekuormat aiheutuvat usein trukkien ja muiden ajoneuvojen pyöristä sekä hyllyjen kuormista. Kuormia laskettaessa on huomioitava, että kaksi riittävän lähekkäin sijaitsevaa pistekuormaa aiheuttaa lähes puolitoista kertaa suuremman momentin kuin yksinäinen pistekuorma. Tämä toteutuu usein varastoissa, jossa tavaroiden säilytushyllyjen jalat ovat noin 20 cm päässä toisistaan (kuva 10). [2, s. 32.], [4, s. 26-27.]



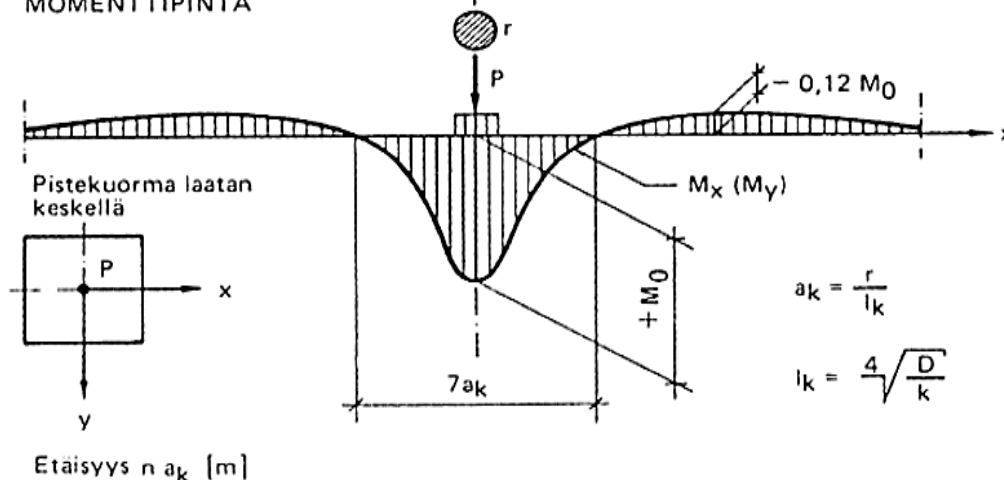
Kuva 10. Hyllyjen jalat [2, s. 32].

Kuvassa 11 on esitetty yhden pistekuorman aiheuttama momentti sekä pohjapaine. Laatan keskellä oleva pistekuorma aiheuttaa vetoa laatan alapintaan ja aiheuttaa positiivisen momentin huipun laatan keskelle, jolloin laatan negatiivinen momentti jää pienemmäksi. [2, s. 32.], [4, s. 26-27.]

POHJAPAINE



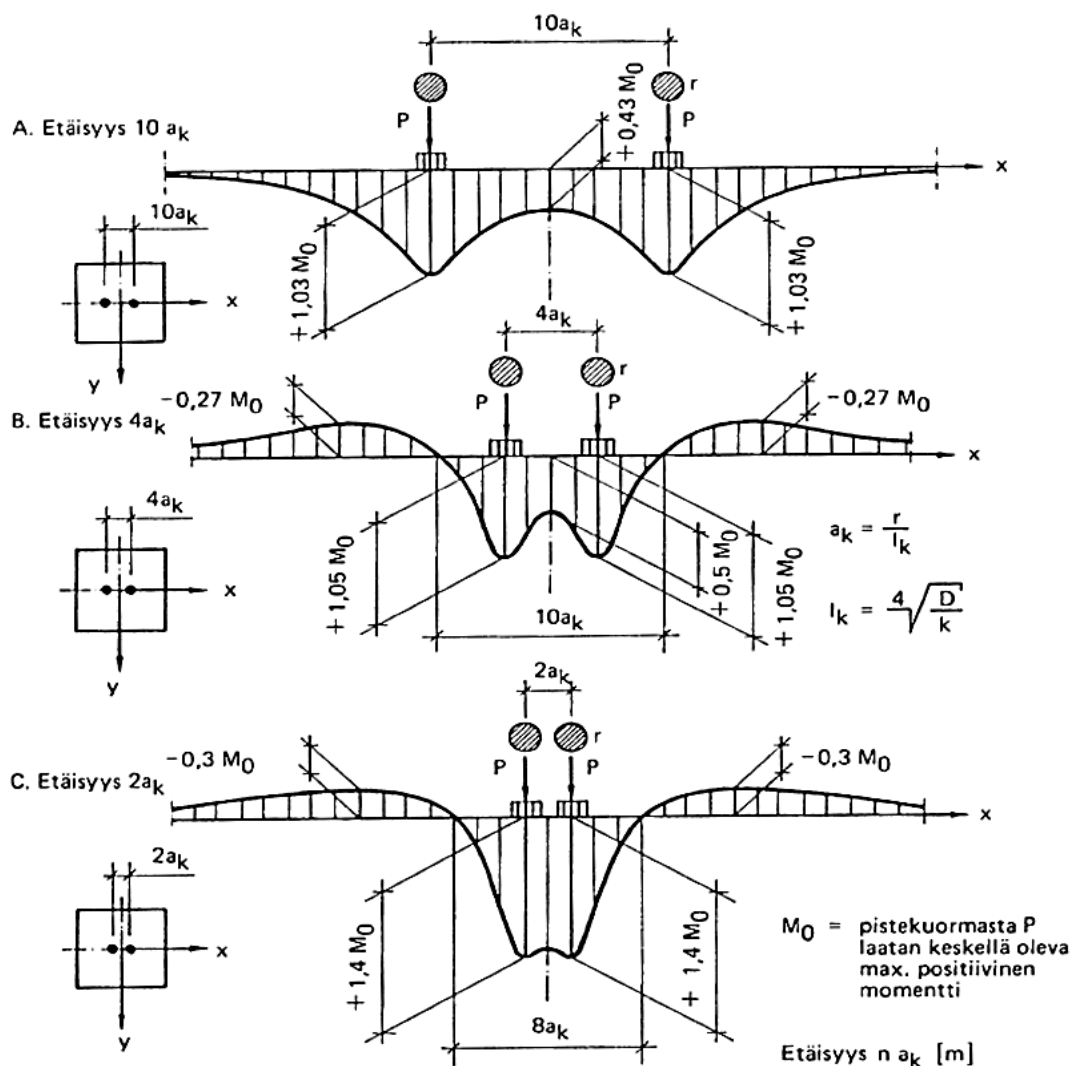
MOMENTTIPINTA



Kuva 11. Yhden pistekuorman aiheuttama pohjapaine ja momentti [4, s. 26].

Kaksi toisiaan lähemmäs olevaa pistekuormaa eivät juuri kasvata momentin maksimiarvoa kuvan 12 kahdessa ylimmässä tapauksessa, mutta kaksi toisiaan lähinnä olevaa pistekuormaa (alin tapaus) aiheuttavat suurimman momentin maksimiarvon, joka on 1,4-kertainen verrattuna yhden pistekuorman aiheuttamaan maksimimomenttiin. Pohjapaine on lähes kaksinkertainen kuvan keskimmaisessä tapauksessa kuin tapauksessa, jossa laattaa kuormitetaan yhdellä pistekuormalla laatan keskeltä. [2, s. 32.], [4, s. 26-27.]

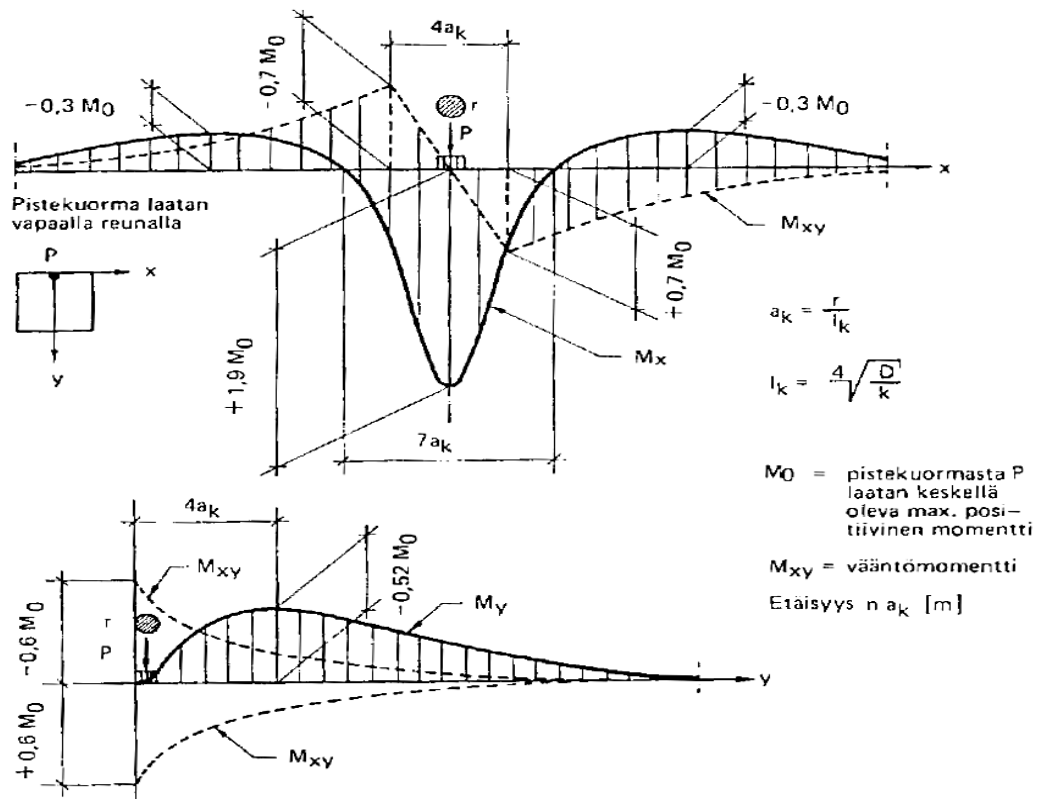
Kuvassa 12, jossa lattiaa kuormitetaan kahdella pistemäisellä kuormalla, ylin tapaus aiheuttaa 1,03, keskimäinen tapaus 1,05 ja alin tapaus 1,4 kertaisen positiivisen momentin. Ylin tapaus, jossa pistekuormat ovat kaukana toisistaan, ei rakenteeseen aiheudu negatiivista momenttia. Keskimmaisessä ja alimmaisessa tapauksessa, joissa pistekuormat ovat lähempänä toisiaan, laattaan aiheutuu negatiivista momenttia. [4, s. 26-27.]



Kuva 12. Kahden pistekuorman aiheuttama momentti [4, s. 27].

Laattaa mitoittaessa on huomiota myös, että laatan kulmassa (kuva 14) oleva kuorma aiheuttaa suuremman positiivisen momentin kuin laatan keskellä tai reunalla oleva kuorma (kuva 13). Kuvassa 13 ylempi tapaus kuvaa momentin arvoja reunan suuntaisesti ja alempi tapaus kuvaa laatan reunaa kohtisuoraan. [4, s. 28-29.]

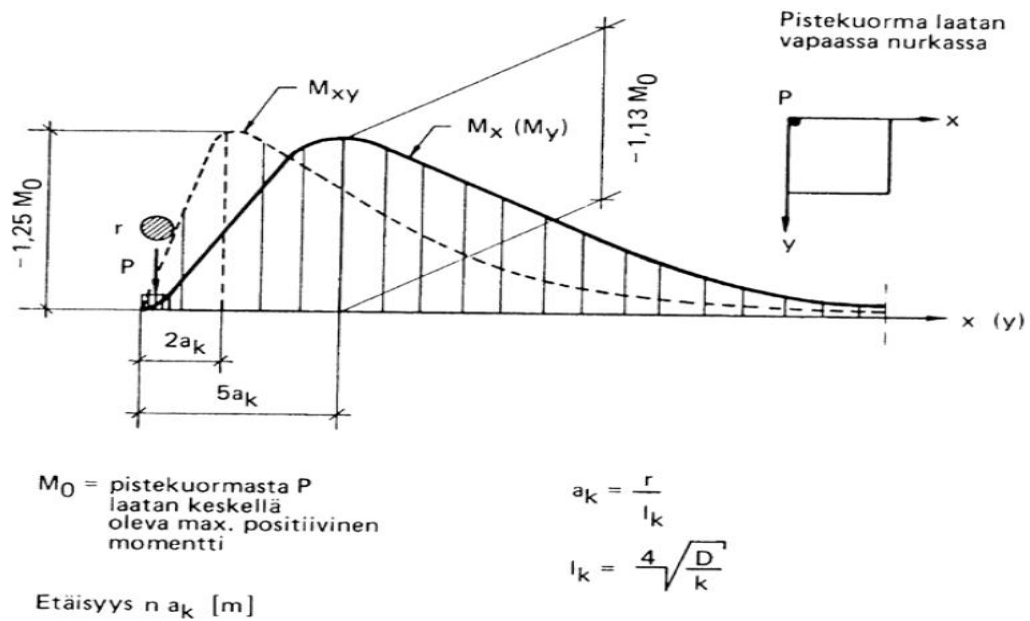
Laatan reunalla oleva pistekuorma aiheuttaa huomattavan negatiivisen momentin. Momentin arvo on yli kaksinkertainen laatan reunalla (kuvan 13 ylempi tapaus), kun keskellä olevan samansuuruisen pistekuorman aiheuttama momentti. Laatan reunalla vaikuttava pistekuorma aiheuttaa myös lähes kaksinkertaisen positiivisen momentin arvon verrattuna keskellä laattaa tapahtuvaan kuormitukseen. Alla olevassa kuvassa 13 katkoviiva kuvaa pistekuorman aiheuttamaa vääntömomenttia, joka siis vaikuttaa eri kohdassa kuin ylempään tapaukseen taivutusmomentti. [4, s. 27-29.]



Kuva 13. Laatan vapaalla reunalla olevan pistekuorman aiheuttama momentti [4, s. 28].

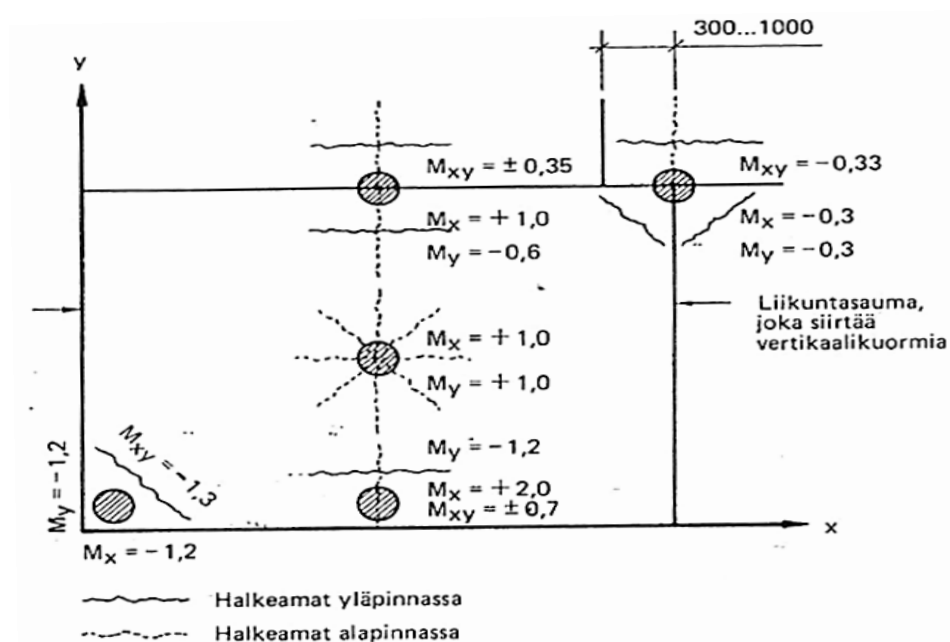
Kaksi lähekkäin olevaa pistekuormaa aiheuttaa noin viisinkertaisen ja yksi pistekuorma kolminkertaisen pohjanpaineen verrattuna keskellä laattaa tapahtuvaan kuormitukseen. Myös laatan reunan taipuma kasvaa. Laatan suunnittelussa tulee huomioida pistekuorman vaikutus laatan reunalla, jolloin laatan saumarakenteen tulisi siirtää osa pistekuormasta sauman yli toiselle laatalle. [4, s. 28.]

Momentin negatiivinen arvo ja vääntömomentin merkitys on suuri laatan vapaassa nurkassa (kuva 14). Vääntömomentin suurus on yli kaksinkertainen verrattuna kuvan 13 tapaukseen. Erityisesti vääntömomentin vaikutus on huomioitava laattaa mitoittaessa. Verrattuna yhteen pistekuormaan laatan keskellä, pohjapaineen arvo on noin kahdeksankertainen laatan kulmassa. [4, s. 29.]



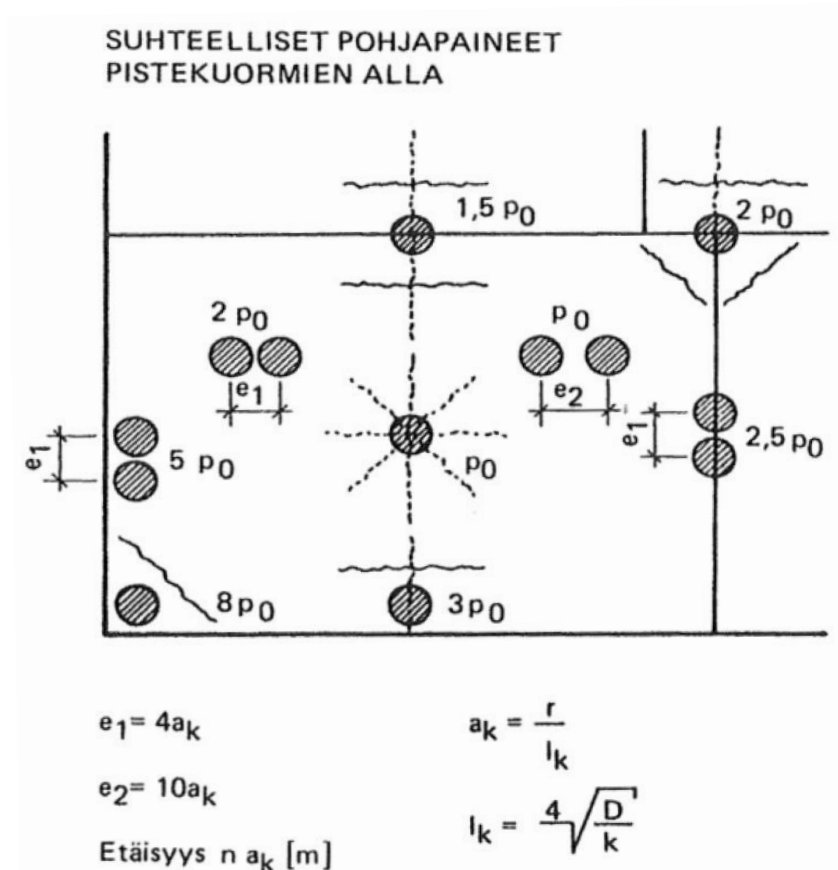
Kuva 14. Laatan vapaassa kulmassa olevan pistekuorman aiheuttama momentti [4, s. 29].

Kuvassa 15 on koottu yhteen pistekuorman vaikutuksesta syntyvät kriittiset halkeamasuunnat eri kohdissa laattaa. Yhtenäisellä viivalla kuvatut halkeamat syntyvät laatan yläpintaan ja katkoviivalla kuvatut alapintaan. Lisäksi kuvassa on yhteenveto pistekuorman aiheuttamista momenttien suhteista. Laatan vapaalla reunalla ja nurkassa taivutus- ja vääntömomentin arvot ovat huomattavasti suurempia ja kriittisempiä kuin laatan keskellä. [4, s. 30-31.]



Kuva 15. Pistekuorman aiheuttamat kriittiset halkeamasuunnat ja momentin suhteet [4, s. 31].

Pistekuorman vaikutuksesta syntyvät pohjapainesuhteet on esitetty kuvassa 16. Pohjapaineiden arvot ovat selkeästi suurempia laatan reuna-alueilla, kuin laatan keskellä. [4, s. 30.]



Kuva 16. Pohjapaineen suhteelliset arvot [4, s. 30].

Laatan reunat tarvitsee vahvistaa, jos reuna-alueille kohdistuu suuria pistekuormia. Reuna-alueiden vahvistus tulisi toteuttaa raudoituksen avulla ja välttää paksunnoksia. Lämmöneristävyyden kuormituskestävyyteen tulee myös kiinnittää erityistä huomiota, jos laattaan vaikuttaa suuria pistekuormia. [4, s. 29.]

4.4.4 Pistekuorman aiheuttaman momentin laskenta lattian eri osissa

Maanvaraisen laatan käsilaskennassa voidaan käyttää yksinkertaistettuja kaavoja. Kaavoilla lasketaan kuorman jakautuminen ja pistekuormasta aiheutuva taivutusmomentti laatan eri osissa. [12, s. 96-98.]

Pistekuorman kuormituspinnan säde r [m] lasketaan kaavasta 2:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi} + \frac{1}{2} \cdot h} \quad (2)$$

A on pistekuorman pinta-ala [m^2]

h on betonilaatanpaksuus [m].

[4, s. 41.]

Elastisen laatan jäyhyssäde l_k [m] lasketaan kaavan 3 mukaan:

$$l_k = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} \quad (3)$$

k on alustaluku [MN/m^3], (lasketaan kaavalla 1)

$$D = \frac{E_{cm} \cdot d^3}{12}$$

$$E_{cm} = 22 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$$

E_{cm} on betonin kimmomoduuli [MN/m^2]

f_{cm} on betonin keskimääräinen puristuslujuus [MN/m^2]

d on laatan hyötykorkeus. jos keskeinen raudotus, $d = 0,85 \cdot h$ jäykkyyttä laskettaessa.

[14, s.96.]

Suhteellinen kuormitusjakauma lasketaan kaavasta 4:

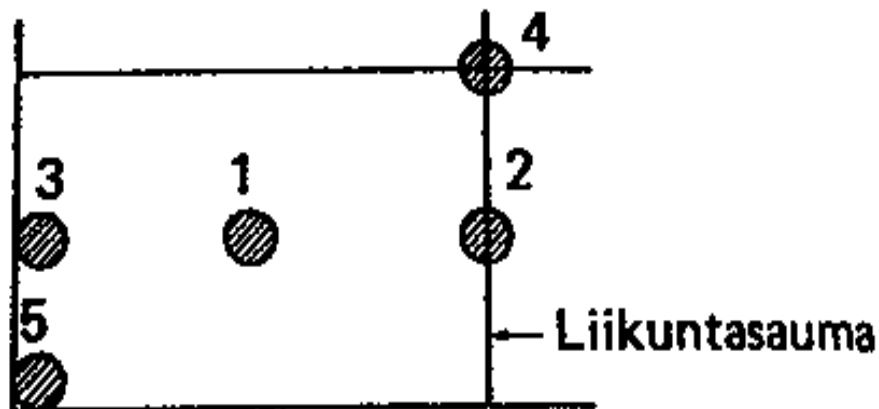
$$a_k = \frac{r}{l_k} \quad (4)$$

r on pistekuorman kuormituspinna säde [m]

l_k on elastinen laatan jäyhyssäde [m].

[4, s. 42.]

Pistekuorman aiheuttaman taivutusmomentin laskentaan vaikuttaa pistekuorman sijainti laatan alueella (kuva 17). Momenttien arvojen laskennassa voidaan käyttää Westergaardin menetelmää (kaavat 5-12). [12, s. 98.]



Kuva 17. Pistekuorman sijainti [14, s. 98].

Kuvan 17 mukaan tapauksessa 1 pistekuorma vaikuttaa laatan keskellä, jolloin maksimi momentti [kNm/m] lasketaan kaavasta 5 ja minimi momentti [kNm/m] kaavasta 6.

$$M_{1\max} = +P \cdot (0,056 - 0,211 \cdot \log a_k) \quad (5)$$

$$M_{1\min} = -0,02 \cdot P \quad (6)$$

Kuva 17 tapauksessa 2 pistekuorma vaikuttaa sauman keskellä. Maksimi momentti lasketaan kaavasta 7 ja minimi momentti kaavasta 8:

$$M_{2\max} = +P \cdot (0,049 + 0,015 \cdot a_k - 0,263 \cdot \log a_k) \quad (7)$$

$$M_{2\min} = -0,033 \cdot P \quad (8)$$

Kuvan 17 tapauksessa 3 pistekuorma vaikuttaa laatan reunassa. Maksimi momentti lasketaan kaavasta 9 ja minimi momentti kaavasta 10:

$$M_{3\max} = +P \cdot (0,013 + 0,068 \cdot a_k - 0,526 \cdot \log a_k) \quad (9)$$

$$M_{3\min} = -0,066 \cdot P \quad (10)$$

Kuvan 17 tapauksessa 4 pistekuorma vaikuttaa saumojen nurkassa. Minimi momentti lasketaan kaavasta 11:

$$M_{4\min} = -\frac{P}{8} \cdot (1 - 0,74 \cdot a_k^{0,6}) \quad (11)$$

Kuvan 17 tapauksessa 5 pistekuorma vaikuttaa laatan nurkassa. Minimi momentti lasketaan kaavasta 12:

$$M_{5\min} = -\frac{P}{2} \cdot (1 - 1,23 \cdot a_k^{0,6}) \quad , \text{ kun } a_k \leq 0,5 \quad (12)$$

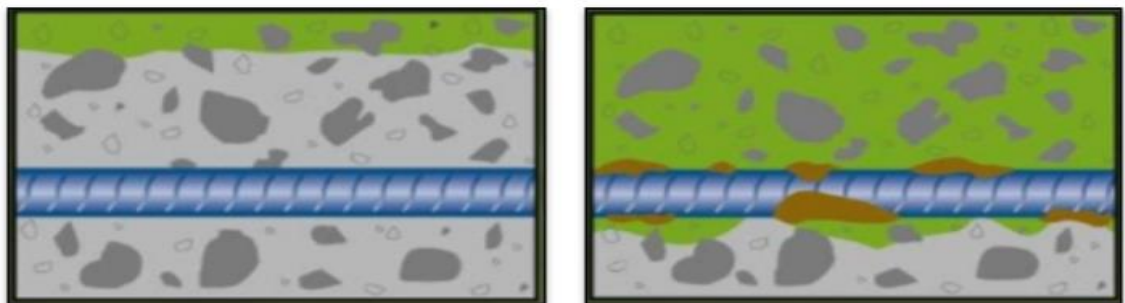
Kaavoissa 5-12 P on pistekuorma [kN]. Positiivisen momentin seurauksena laatan alapintaan syntyy veto ja negatiivinen momentti aiheuttaa vetoa yläpintaan.

[12, s. 98.]

4.5 Muut rasitukset

Muita betoniin kohdistuvia rasituksia ovat muun muassa kemialliset rasitukset, karbonatisoituminen ja kloridirasitukset. Kemiallisia rasituksia ovat happojen, rasvojen ja öljyjen syövyttävät vaikutukset. Kemiallista kestävyyttä voidaan parantaa betonimassan koostumuksella ja pintakäsittelyllä. [4, s. 24.]

Betonin karbonatisoituminen johtuu pH:n laskemisesta, minkä seurauksena rauditus ruostuu. Kuvassa 18 on esitetty raudituksen ruostuminen karbonatisoitumisen seurauksesta. Kuvassa vihreä väri kuvaa karbonatisoitumista. [39, s. 3.]



Kuva 18. Betonin karbonatisoituminen ja raudan korroosio [39, s. 3].

Kloridirasitukset johtuvat usein ulkoa tulevista klorideista kuten teiden sulatussuolauksesta tai meriympäristöstä. Kloridit tunkeutuvat betonirakenteen sisään nopeasti ja aiheuttavat raudoituksen korroosion. Klorideista johtuva korroosio on paikallista ja vaikea havaita. [39, s. 4.]

5 Maanvaraisen lattian saumat

Maanvaraista laattaa suunnitellessa on myös huomioitava sen kuivumiskutistuminen valitsemalla kohteeseen sopiva rakenne ja sille oikea saumajako. Saumajako voidaan toteuttaa jakamalla laatta osiin, jolloin kutistumisjännityksiä rajoitetaan ja saadaan minimoitua alustan kitkavoimat. Tällainen laatta suunnitellaan niin sanotusti halkeilemattomaksi. Toinen tapa tehdä maanvarainen laatta on tehdä siitä saumaton laatta jälkijännitettynä ja kolmas vaihtoehto on hallita halkeilua raudoituksen avulla ja suurentaa alustan kitkavoimaa, jolloin laatta tehdään suurina yhtenäisinä massoina niin sanotusti ilman saumoja. [4, s. 16.]

5.1 Saumallinen lattia

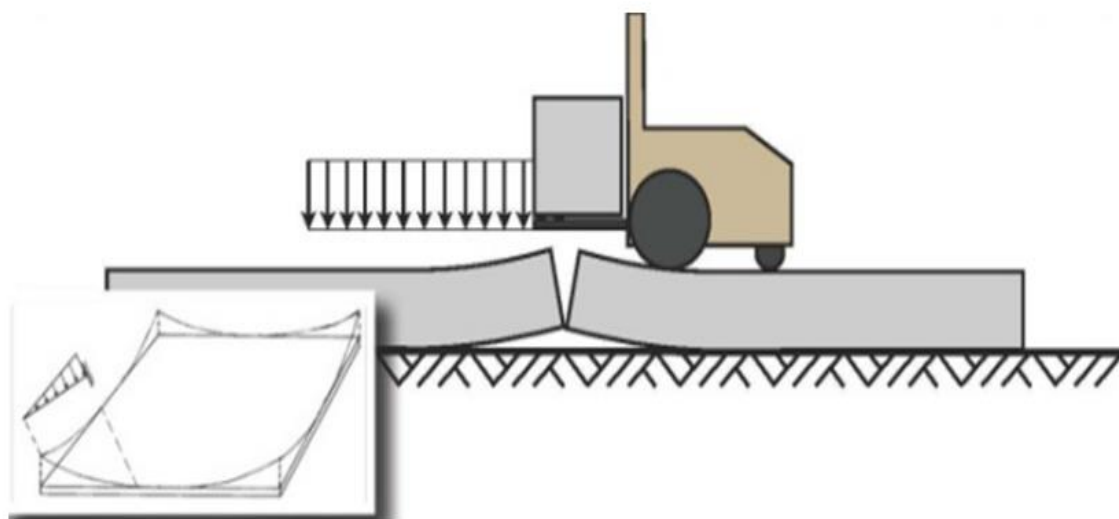
Saumalliseksi lattiaksi kutsutaan lattioita, joihin on tehty kutistumasaumat. Kutistumasaumat voidaan toteuttaa sahattuina saumoina (kuva 19), jolloin kovettuneeseen laattaan sahataan ura, johon kutistuma halutaan keskittyvän. Sauman tulee olla noin 25-35 % laatan kokonaispaksuudesta ja leveys 3-5 mm. Kovettuneeseen betoniin sahattaessa on tärkeää muistaa oikea ajoitus, koska liian aikaisin suoritettu sahaus rikkoo laatan reunat ja halkeamia pääsee syntymään, jos sahaus ajoitetaan liian myöhään. Saumojen sahaus suoritetaan 8-24 tunnin kuluttua valusta. [4, s. 71.], [40, s. 5, 17.]



Kuva 19. Saumojen sahaus [24, s. 29].

Kutistumasaumat voidaan toteuttaa valmiilla raudoitteella, joka asennetaan ennen valua haluttuun kohtaan. Valmiita saumaraudoitteita voidaan myös käyttää tarvittaessa työ- tai liikuntasauemoissa. Kutistumasaumoja ovat myös luonnolliset saumat, joita kutsutaan halkeamiksi. Luonnolliset kutistumasaumat saattavat levitä ja murtua helposti sekä aiheuttaa esteettistä haittaa. Saumarakenne tulee aina valita käyttökohteen mukaan, koska saumat ovat maanvaraisen lattiarakenteen heikoin kohta. Pienetkin korkeuserot saumarakenteessa voivat johtaa sauman murenemiseen esimerkiksi trukin pyörän vaikutuksesta. [4, s.71.], [40, s. 5-6.]

Betonilaatan ylä- ja alapinnan väliset lämpötila- ja kosteuserot aiheuttavat kutistumiseroja pintojen välillä, jolloin laatan reunat käyristyvät. Laatan kylmässä pinnassa, eli yleensä alapinnassa, muodostuu taivutusjännitystä ja lämpimään pintaan, eli yläpintaan, muodostuu puristusjännitystä, jonka seurauksena laatan reunat pääsevät käyristymään ylöspäin. Laattojen reunojen käyristymiset vaikeuttavat kaluston liikuttamista (kuva 20). [4, s. 37.], [41.]



Kuva 20. Reunojen käyristyminen tekee ajoneuvoilla liikkumisen hankalammaksi [40, s. 17].

Saumallisissa laatoissa suositetaan mahdollisimman pientä kitkaa laatan ja alustan välillä. Pieni kitka mahdollistaa laatan vapaan kutistumisen kuvan 21 mukaisesti. Kitkaa voidaan pienentää esimerkiksi laakerointitasaushiekalla, muovikalvolla tai sileällä rakennuspaperilla. Muovikalvoa käytettäessä on tunnettava lattian fyysikaalinen kosteuskäyttäytyminen. Liian pitkät saumajaot aiheuttavat laatan kuormansiirtokyvyn heikentymisen, sauman toiminnan heikentymisen ja reunojen käyristymisvaaran kasvamisen. [40, s. 5, 17.]



Kuva 21. Saumallisen laatan kutistuminen vapaasti [40, s. 9].

Sahasaumojen tarkoituksena on pienentää laatan kutistumismatkaa, jolloin myös kitkavoiman suuruus pienenee. Kutistumismatkan ollessa lyhyempi ja kitkan ollessa pienempi betonin kutistumista voidaan hallita eikä sen vetolujuus ylity eikä laattaan synny rakenteellisesti heikentäviä halkeamia sahasauman kohtiin. [40, s 11.]

Sahasaumojen lisäksi laatoissa tarvitaan työsaumoja, koska isoja alueita valaessa saadaan harvoin tehtyä työ alusta loppuun yhtenäisenä valuna. Työsaumat muodostavat usein rakenteiden liikuntasaumot. Saumoihin tulee asentaa liikuntasaumaraudoitteet, joiden tehtävänä on siirtää kuormat sauman yli. Liikuntasaumot ovat laatasta tarpeen mukaan välttämättömiä, vaikka tavoitteena on tehdä niin sanotusti saumaton laatta. [1, s. 18-19.], [3, s. 72.]

5.2 Saumaton lattia

Saumattomaksi kutsuttu betonilaatta tehdään ilman kutistumissaumoja, mutta sen toteutus vaatii kuitenkin irrotus- ja työsaumat valualueen reunoille. Irrotussaumot sallivat lattian vaaka- ja pystysuuntaisen liikkeen suhteessa rakennuksen kiinteisiin osiin kuten pilareihin ja seiniin. Irrotussaumoissa tulee huomioida lisäterästarve esimerkiksi kuvan 22 mukaisesti. Lisäraudoituksen tulee olla kohtisuorassa oletettua halkeamissuuntaa vastaan. [40, s. 3, 8.]



Kuva 22. Irrotussaumojen lisäraudoitus [2, s. 33].

Saumattomia maanvaraisia lattiaita käytetään usein raskaasti kuormitetuissa kohteissa. Saumattomuuden hyöty korostuu silloin, kun laattaan kohdistuu suuria pistemäisiä kuormia tai huomattavia liikkuvia kuormia. [2, s. 32.]

Saumattomassa laatassa halkeilu jaetaan riittävällä raudoituksella sekä alustan että laatan välisellä kitkavoimalla, jolloin halkeamaväli ja halkeamien leveys saadaan rajoitettua käyttövaatimuksiin riittävän pieneksi. Saumattomissa laatoissa kitkavoima on myönteinen tekijä, päinvastoin kuin kutistumasaumallisissa lattiavaihtoehdoissa, halkeilun vähentämisenä. [4, s. 66.]

Lattioiden saumoja voidaan pitää vaurioiden ja halkeilun aiheuttajina laatan kulmissa ja reuna-alueilla, koska saumarakennetta pidetään maanvaraisen betonilaatan yhtenä heikoimpana kohtana. Mahdollisimman harvalla saumajaolla (kuva 23) ja oikeanlaisella saumatyypillä voidaan ehkäistä osa ongelmista. [3, s. 73.], [29.]



Kuva 23. Saumaton betonilattia [13, s.13].

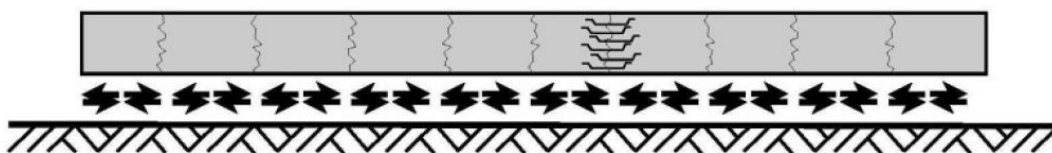
Saumattomassa laataassa kannattaa suosia kohtuullisen ohutta laatan paksuutta, jolloin laatta pääsee kuivumaan molempiin suuntiin ja säästetään materiaalikustannuksissa. Ohuessa laataassa rauditus sijoitetaan yleensä laatan keskelle. Saumattomaan laataan ei välttämättä tarvitse liikunta- ja työsaumoja, jos laatta on tarpeeksi ohut. Ohut laatta on mahdollista valaa yhden työvuoron aikana, jos valualue ei ole kohtuuttoman suuri. Jos laattaa ei voida toteuttaa yhtenäisenä valuna, voidaan työsaumat raudittaa samalla tavalla kuin itse laatta, jolloin työsauma on käytännössä ohut halkeama laataassa. [4, s. 66.], [13, s. 41.], [19, s.33.]

Ohuella laattalla on parempi pistekuormakestävyys koko laattalla, koska siinä ei ole rakennetta heikentäviä saumoja. Laatta usein mitoitetaan keskellä olevalle pistekuormalle. Suurissa, tasaisissa kuormissa on huomioitava lämmöneristeen riittävä kestävyys ja puristumattomuus. [19, s.33.], [40, s. 15.]

Laatalle haluttaessa suurempi kantavuus tulee rauditus sijoittaa maksimissaan kolmannespaksuuden päähän alapinnasta. Haluttaessa pienentää laatan yläpinnan halkeaman koko, tulee rauditus sijoittaa korkeintaan kolmannespaksuuden päähän ylä-

pinnasta. Alle 120 mm:n paksuiseen laattaan ei suositella tehtävän kahta raudoituserosta, jotta betonipeitteen paksuudet pysyvät kohtuullisina. [4, s. 66.], [13, s. 41.]

Saumaton lattia valetaan usein normaalilla lattiabetonilla C25/30. Saumattoman laatan alla tulisi suosia hyvin tiivistettyä sepeliä, jolloin saadaan laatan ja alustan välinen kitka kohtuullisen suureksi. Vaikka tiivistetty sepelikerros saumattoman laatan alla suurentaa kitkavoimaa ja betonin vetolujuus ylittyy nopeasti, ovat halkeamat hyvin pieniä ja useassa kohtaa. Tällöin halkeamisesta ei koidu haittaa laatan ulkonäköön tai sen käytettävyyteen. Laatan rauditus pitää laatan koossa suuren vetokapasiteettinsa ansiosta (kuva 24), vaikka laatan kutistuminen on käytännössä estetty. [13, s. 41.], [19, s. 33-34.], [40, s. 12.]



Kuva 24. Kutistumisen hallinta saumattomassa laattassa [40, s. 12].

Laatassa oleva suuri rauditusmäärä mahdollistaa laatan kestävyuden, vaikka vetolujuus olisi ylittynyt kutistumisen ja lämpötilaerojen takia. Saumattoman laatan rauditus voidaan esimerkiksi tehdä rullaraudoituksena, jolloin raudoittaminen onnistuu helposti ja nopeasti. [13, s. 41.], [19, s. 32.]

5.3 Saumattoman lattian raudoituksen mitoitus

Saumattoman maanvaraisen laatan rauditus voidaan mitoittaa BLY 7/ by 45 mukaan seuraavasti kaavalla 13:

Rauditus (A_s) tulee olla kahteen toisiaan vastaan kohtisuoraan vähintään:

$$A_s \geq k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{1,3 \cdot f_{ctk} A_c}{f_{yk}} \quad (13)$$

k_1 on alustan ja laatan välisestä kitkasta riippuva kerroin
 $k = 0,7$ tiivistetylle sepelille

$k = 0,8$ tiivistetylle soralle

$k = 1,0$ kun laatan ja alustan välillä on pieni kitka

$$k_2 = \frac{\varepsilon}{0,8} \text{‰}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{cs} + \varepsilon_t \geq 0,8 \text{‰}$$

ε_{cs} on betonin kutistuma, tarvittaessa otetaan huomioon kaikki kutistumalajit

ε_t on lämpötilan muutoksesta aiheutuva kutistuma. Se lasketaan massan sitoutumislämpötilan ja laatan alhaisimman lämpötilan erotuksen

$1,3 \cdot f_{ctk}$ on betonin vetolujuuden ylärajan ominaisarvo [N/mm^2]

f_{yk} on raudoituksen lujuus, laskelmissa kuitenkin enintään 400 MPa [N/mm^2].

[4, s. 66-67.]

6 Maanvaraisen lattian toteutus

6.1 Toteutus

Ennen laatan valutöitä tulee huomioida ja sopia yhteiset laatutavoitteet sekä käydä huolellisesti läpi laaditut suunnitelmat, valun aikaiset olosuhteet ja vastuun jako. Toteutuksen kannalta on oleellista päättää betonin siirtotapa jo hyvissä ajoin. Lattiavalussa mahdollisia betonin siirtotapoja ovat muun muassa pumppu, dumpperi ja hihna-auto. Hihna ja dumpperi mahdollistavat paksumman ja jäykemmän massan käytön kuin pumpun käyttö. [1, s. 19.]

Pumppua ja hienompaa massaa käytettäessä rakenteen halkeiluriski kasvaa. Pumpun halkaisijan tulisi olla vähintään 75- 100 mm, jotta pystyttäisiin vähentämään halkeilun ja liiallisen kutistumisen riskejä ja pumppaamaan riittävän paksua massaa. [1, s. 19.]

Betonilattioiden valutyöt koostuvat massan levittämisestä, tiivistämisestä, tasoittamisesta, hierrosta ja jälkihoidosta. Muita tärkeitä valuaikaisia asioita ovat:

- alustan tiiveyden ja korkotason tarkistaminen
- raudoituksen, saumojen ja muiden detaljien asennus ja tarkistus
- betonimassan tilaaminen riittävän ajoissa
- työkoneiden ajoreitit
- riittävä määrä työntekijöitä ja valvojia valuaikana
- valuolosuhteisiin varautuminen; lämpötila, kosteus, ilmavirtaukset ja auringon paiste
- massan työstettävyyteen ja siirtämiseen tarvittavat työvälineet ja kuluneuvot
- riittävä dokumentointi.

[2, s. 36.]

Betonimassan tilaus tulisi suorittaa jo viikkoa ennen valun toteutumista, jotta työmaalle saadaan aikataulun mukaisesti haluttu määrä oikeaa betonimassaa. Ennen valutöitä on varmistettava, että kaikki osapuolet ovat tietoisia valualueiden koosta ja liikuntasuma-jaosta. Valutyön suorittajan tulee myös suorittaa massan tiivistys kauttaaltaan sekä huolehtia betonin tasoituksesta ja jälkihoitoaineen levityksestä estääkseen pinnan halkeilu. [1, s. 19.]

Pinnan hierron aloitukseen vaikuttaa oleellisesti betonimassan koostumus ja ympäristöolosuhteet. Valun aikana tulee myös riittävään valaistukseen kiinnittää huomiota, jos tavoitteena on hyvälaatuinen betonilattia [1, s. 19.]

Maanvarainen laatta voidaan valaa kerralla tai kerroksittain. Laatan pintaosan valaminen erikseen mahdollistaa paremman hallittavuuden ja sillä voidaan parantaa pinnan laatua. Menetelmä aiheuttaa lisäkustannuksia ja -työvaiheita. [12, s. 151.]

Pintabetonin onnistuminen on haastavaa ja siinä on kiinnitettävä erityistä huomiota aikaisemmin valetun laatan pintaan, jotta saadaan aikaiseksi riittävä tartunta. Kovan betonin päälle valettaessa on oltava selvää, halutaanko pintalaatta kiinnittää alustansa vai toimiiko se irrallisena liikkuvana laattana alusbetonin päällä. Osittainen tartunta-

alusta saattaa aiheuttaa suunnittelemattomia halkeamia ja reunojen käyristymistä. Hyvän tartunnan saavuttamiseksi aluslaatan pinnan tulee olla puhdas, luja, kostea, sula ja lämmin. [12, s. 152.]

6.2 Jälkihoito

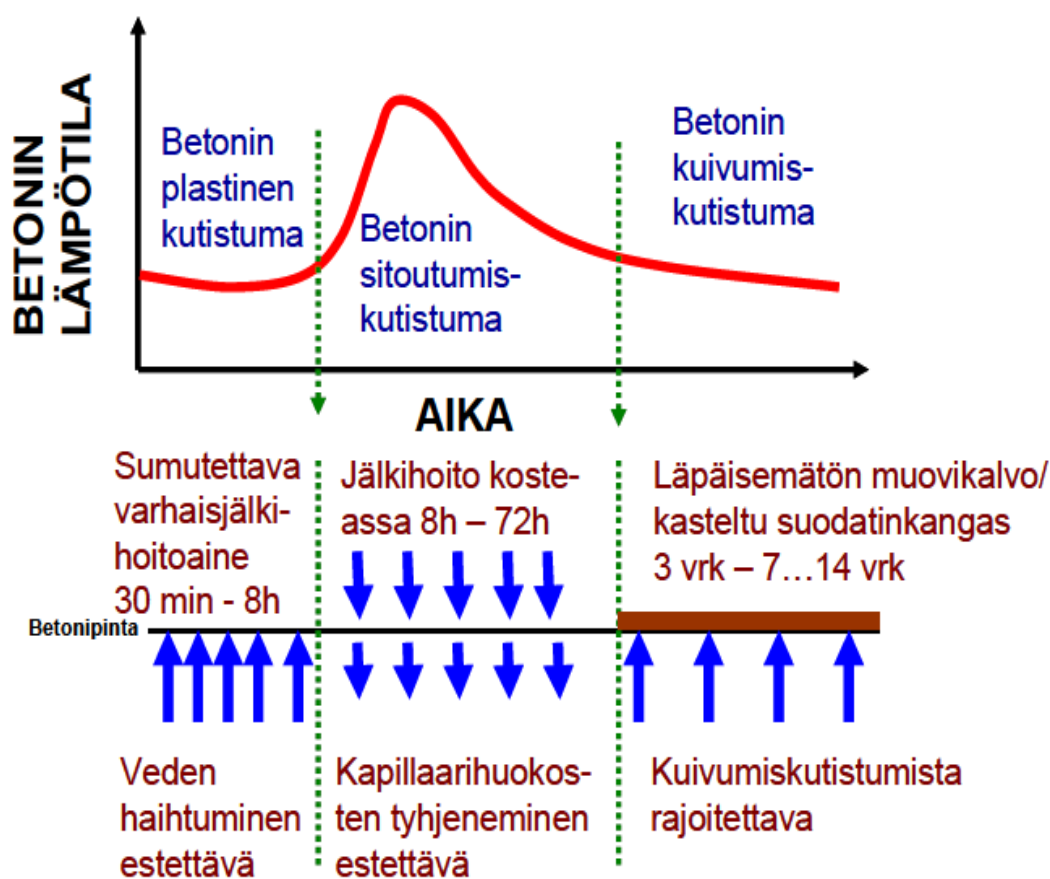
Betonilattioiden jälkihoidolla on suuri merkitys lattian laatuvaatimusten täyttymisen kannalta. Myöhässä aloitettu tai puutteellinen jälkihoito voi aiheuttaa hyvin toteutetun laatan epäonnistumisen ja asetetut laatuvaatimukset saattavat jäädä saavuttamatta. Oikein tehty jälkihoito suojaa betonia ulkoisilta rasituksilta, kuten ilmavirran haitallisilta vaikutuksilta. Betonin kovettumisen alkuvaiheessa aiheutuma plastinen kutistuma betonin pinnassa on jopa kymmenkertainen suurempi kuin betonin kuivumiskutistuma. Jälkihoitomenetelmät tulee valita aina tapauskohtaisesti sekä ottaa huomioon olosuhteet ja betonin laatu. [1, s. 19.], [42.]

Jälkihoito jaetaan usein varhaisjälkihoitoon ja sen jälkeen aloitettavaan varsinaiseen jälkihoitoon. Varhaisessa jälkihoidossa on tärkeintä estää veden liiallinen ja liian nopea haihtuminen betonista. Betonin kannalta tärkeää on estää sen kuivuminen ja kutistuminen liian varhaisessa vaiheessa, ettei betoni pääse halkeilemaan eikä sen pinnalle muodostu muusta massasta erottuvaa kerrosta. Jälkihoitoa tulee jatkaa yhdestä kahteen viikkoon ja sitä vähennetään asteittain. [1, s. 6-7.]

Lattiabetonin jälkihoito olisi hyvä aloittaa mahdollisimman pian pinnan hierron jälkeen. Jälkihoidoksi soveltuu hyvin ruiskutettava jälkihoitoaine, joka levittyy helposti lattian pinnalle. Jälkihoitotapana voidaan käyttää muovia tai märkää suodatinkangasta. Muovi tai kangas tulisi levittää laatan pinnalle muutaman tunnin kuluttua hierrosta. [1, s. 19.]

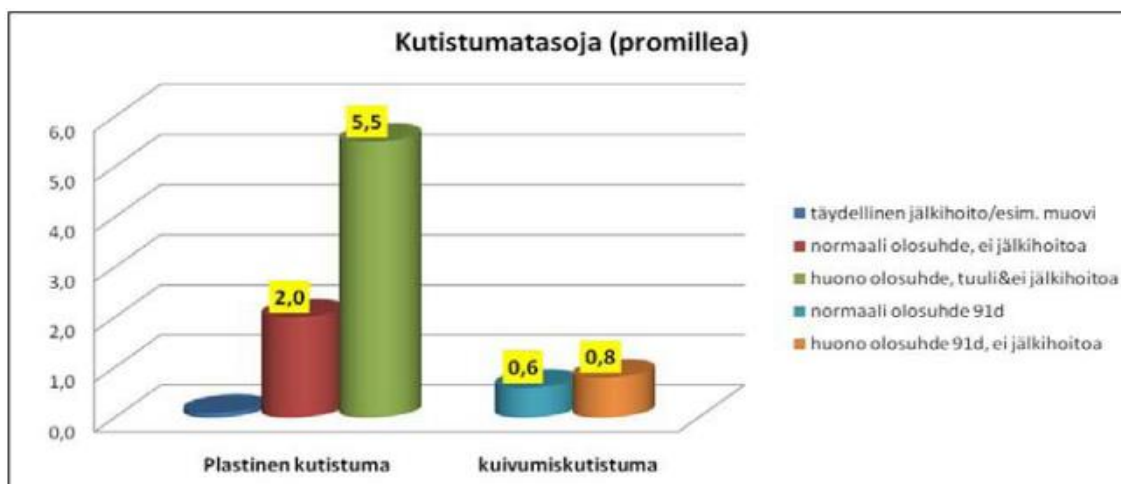
Vaativissa olosuhteissa suositellaan käytettäväksi jälkihoitomenetelmänä jälkihoitoaineen levittämistä heti hierron jälkeen ja seuraavana päivänä peittämistä muovilla, jotta laatta ei ala halkeilla. Myös kastelu voi olla joissain tapauksissa tarpeen. Useimmat jälkihoitoaineet poistetaan jälkihoidon päätyttyä harjauksella tai hionnalla. Lattiapinnan lämpötilan tulee olla yli 10 °C koko jälkihoidon ajan ja jälkihoitoa jatketaan, kunnes 80 % betonin loppulujuudesta on saavutettu. [1, s. 19.]

Kuviossa 6 on esitetty jälkihoidon periaatekaavio betonirakenteille. Betonin lämpötilan nousu, joka johtuu veden ja sementin reaktioista, on todella vähäistä ensimmäisen vuorokauden aikana massan sekoituksesta. Ohuissa lattiarakenteissa lämpötila nousee ensimmäisen vuorokauden aikana vain joitakin asteita. Ensimmäisen vuorokauden aikana rakenteessa alkaa tapahtua sitoutumiskutistumista, jossa veden ja sementin reaktiosta johtuen massan tilavuus alkaa pienetä. Reaktio aiheuttaa myös lämpötilan nousun, joka kuitenkin tasoittuu noin kahden vuorokauden kohdalla. Tänä aikana jälkihoito toteutetaan esimerkiksi kostealla suodatinkankaalla. [1, s. 19.]



Kuvio 6. Jälkihoidon periaatekaavio betonirakenteille [17, s. 6].

Kuviossa 6 on vertailtu kutistumatasoja riippuen olosuhteista sekä onko jälkihoitoa suoritettu vai ei. Varhaisen vaiheen eli plastisen kutistuman ja kuivumiskutistuman kohdalla kuviossa huomataan, että jälkihoitoa suurempi merkitys on olosuhteilla. [18, s. 3.]



Kuvio 7. Jälkihoidon vaikutus plastiseen ja kuivumiskutistumaan. [18, s. 3].

Huonon jälkihoidon seurauksena on plastinen kutistuma, jonka seurauksena betonin pinta halkeilee. Oikein tehdyllä jälkihoidolla voidaan vaikuttaa moniin betonin ominaisuuksiin, kuten sen rakenteelliseen kestävyys ja ulkonäköön. [12, s. 171-172.]

6.3 Päälystys

Lattian päälystysvalintaan vaikuttaa oleellisesti lattian laatuvaatimukset. Laatuvaatimuksia voivat olla muun muassa kulutuskestävyys, kemiallinen kestävyys tai ulkonäkö. Pinnoituksen tai muun päälysteen valinnassa tulee huomioida myös vaadittu käyttöikä eli milloin pinnoite tulee korjata tai kokonaan uusia. [29.]

Pinnan kulutuskestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä kuivasirotetta tai epoksinpinnoitetta. Kuivasirotetta käytetään betonipinnan kulutuskestävyyden parantamiseen esimerkiksi varastorakennuksessa. Käytettäessä kuivasirotetta on huomioitava, että sirote sitoo vettä betonimassasta. [1, s. 18.]

Sinkopuhalluksella valmistellaan lattia päälystyskuntoon koneellisesti kovan paineilman ja metallihiukkasten avulla. Sinkopuhalluksen avulla voidaan poistaa heikkolaatuinen betoni laatan päältä ja tehdä karhennukset pintalaatalle. [12, s. 175.], [43.]

Hionta on yksi pinnan käsittelyvaihtoehto. Hionnalla saadaan aikaiseksi kulutusta kestävä, siisti pinta, joka on laadukas ja edullinen vaihtoehto verrattuna moneen muuhun pinnan käsittelyvaihtoehtoon. Valmiiksi hiottu pinta käsitellään usein huokosiin tunkeu-

tuvalla suoja-aineella, jolloin saadaan hygieeninen ja helposti puhtaana pidettävä pinta. Jos laatan pinnoitustavaksi valitaan maalaaminen, tulee odottaa, kunnes laatta on kuivunut riittävästi, jotta maalipintaan ei tule hiushalkeamia. [1, s. 18.], [19, s. 37.]

6.4 Huolto ja korjaus

Laatuvaatimuksien ohella lattialle tulee laatia käyttö- ja ylläpitosuunnitelmat, joissa kerrotaan ohjeita lattian hoidosta, puhtaanapidosta ja huoltotoimenpiteistä. Ohjeiden tulee sisältää tiedot sallituista kuormista ja koneista, joilla saa lattian päällä liikkua. Siivoukseen käytettävät aineet valitaan lattian pintakerroksen mukaan. Lattialle kaatuneet nesteet on pyyhittävä lattian pinnalta mahdollisimman pian, jotta rakenne ei altistu kemiallisille rasituksille. Saumojen kuntoa tulee seurata säännöllisesti sekä tarvittaessa suorittaa korjaustoimenpiteitä. [12, s. 180-181.]

Lattian korjaukseen johtavat tekijät saattavat olla ulkoisia tai sisäisiä tekijöitä. Ulkoisia vaurioiden aiheuttajia ovat erilaiset iskut, ylikuormitus, tulipalo tai muut ympäristötekijät. Betonin sisäisen vaurion saattavat aiheuttaa betonin karbonatisoituminen, raudan korrosio tai kloridirasitus. Edellä mainittuihin tekijöihin vaikuttavat betonin laatu, halkeamat tai muut pinnan vauriot ja suojabetonikerroksen paksuus. [39, s. 2, 5.]

Halkeamista voi koitua myös terveydellisiä haittoja sisäilmasta. Maaperän kosteus voi aiheuttaa kosteus- ja homevauriota rakenteeseen. Saumojen ja läpivientien kohdalla sisäilman raadon pitoisuudet saattavat nousta liian korkeiksi. Halkeamaleveyden ylittyessä lattiarakenteesta ei tule käyttökelvoton. Lattian vaativuusluokka voidaan palauttaa injektoimalla halkeamat. Ennen injektointia tulee selvittää halkeilun syy ja korjaus arvioida kohdekohtaisesti. [12, s. 23.], [26, s. 36.]

7 Tutkimukset ja tulokset

Eri tekijöillä, kuten alustan kantavuudella, kuormituksen suuruudella ja sijainnilla, laatan paksuudella sekä saumajaolla on suuri merkitys laatan toimivuuteen ja kestävyYTEEN. Tässä luvussa keskitytään laskennallisesti maanvaraisten laattojen toimivuuteen sekä perehdytään tutkimuskohteen, Sipoon Logistiikkakeskuksen, maanvaraisiin betonilattioihin.

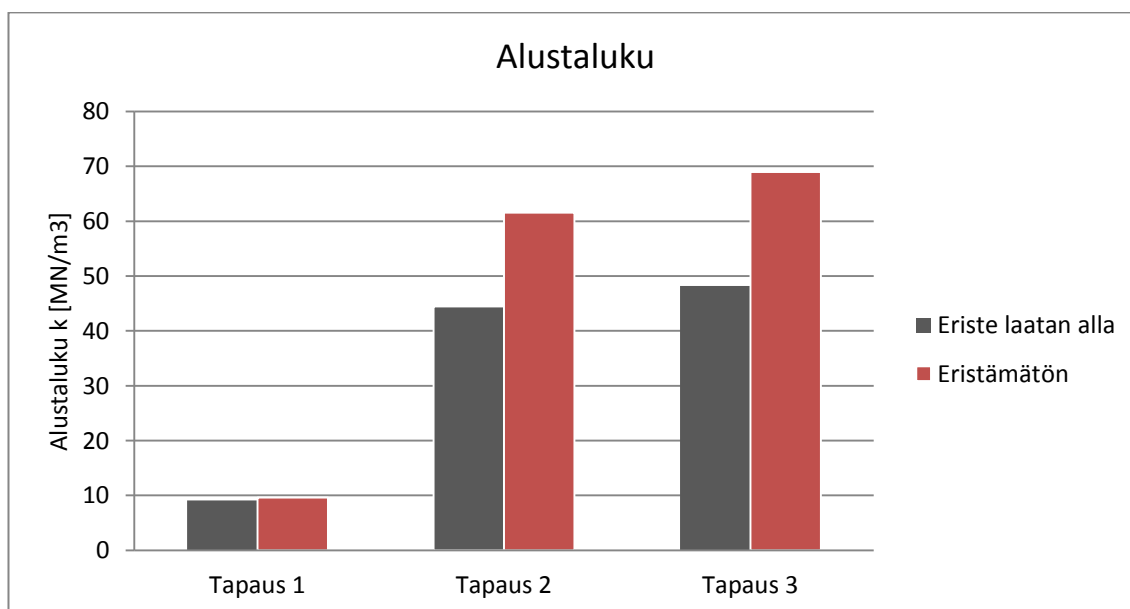
7.1 Laskennallinen tarkastelu

7.1.1 Pohjan laatu ja kuormitukset

Pohjan laadulla ja alustaluvun suuruudella on iso merkitys laatan momenttikestävyyteen. Kuvioissa 8 vertaillaan erilaisten alustojen vaikutusta alustalukuun.

Kuviossa 8 ja 9 harmaalla olevat pylväät kuvaavat laattaa, jonka alla on 100 mm jäykkää eristettä, ja punaiset pylväät kuvaavat eristämätöntä laattaa. Tapauksen 1 alusta koostuu 300 mm paksuisesta sorasta ja perusmaasta, joka on löyhää hiekkaa. Tapauksessa 2 sora on samaa ja sitä on saman verran kuin tapauksessa 1, mutta perusmaa on tiivistä hiekkaa. Tapauksessa 3 sorakerros on tiiviimpi kuin aikaisemmissa tapauksissa ja perusmaa sama kuin tapauksessa 2. Rakenteet on esitetty liitteessä 3.

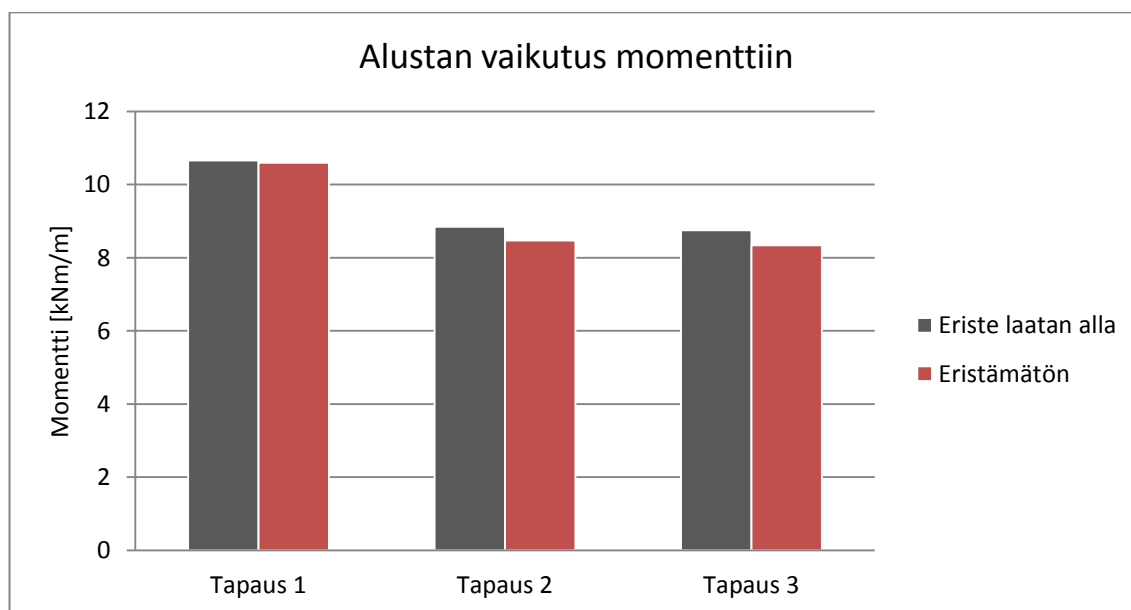
Kuvion 8 laskennat perustuvat laskentakaavaan 1. Kuvioista huomataan, että eristämättömän laatan alustaluku on suurempi kuin eristetyn laatan, koska käytetyn eristeen kimmokerroin on huomattavasti pienempi kuin tiiviiden maakerrosten kimmokertoimet. Tapauksissa 2 ja 3 on käytetty perusmaana tiivistä hiekka kerrosta. Tämä vaikuttaa alustalukuun suurentavasti.



Kuvio 8. Erilaisten alustojen vaikutus alustaluvun suuruuteen.

Lämmöneristeen käyttäminen lattiarakenteen alla heikentää lähes aina alustan piste-kuorman kantavuutta. Lämmöneristeen käyttäminen vaatii paksumman laatan ja vahvemman raudoituksen käyttöä. Pinta-alaltaan suurissa rakennuksissa ei saavuteta suurta hyötyä laatan lämmöneristämällä. Lämpötila tasaantuu laatan alla nopeasti lämmityksen käyttöönoton jälkeen. Laajojen rakennuksien, joissa ei ole käytetty laatan alapuolista lämmöneristettä, reuna-alueille tulisi sijoittaa lämmöneristeet pystysuunnassa sokkeleiden pintaan. Lämmön eristettä käytettäessä tulisi eristeeksi valita hyvin kuormituksia kestävä laatu, minkä lisäksi eriste tulisi mielellään sijoittaa maakerroksen alle, jolloin lämmöneriste ei häiritse valutöitä. [2, s. 30.]

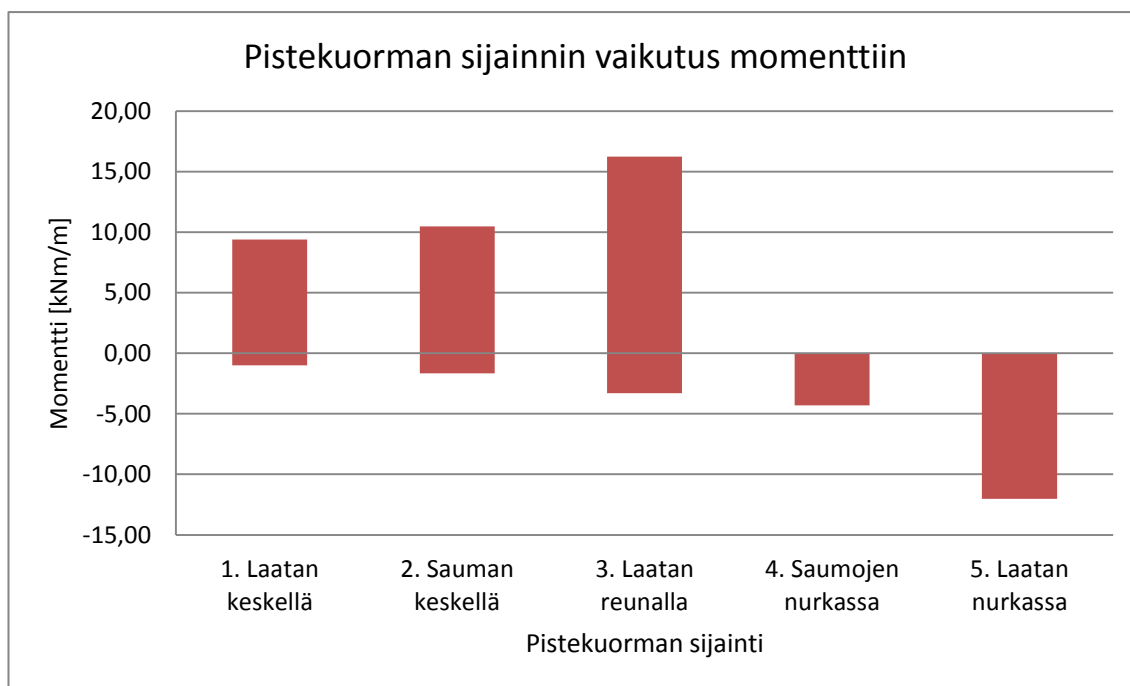
Kuviossa 9 on käytetty laskennassa kuvion 8 alustalukuja. Pistekuorman arvo on 50 kN, kuormituspinta-ala on EUR -lava eli 800 mm x 1200 mm, betoniksi on valittu C 25/30 ja laatan paksuutena on 80 mm. Pistekuorma vaikuttaa laatan keskelle, jolloin laskennassa on käytetty kaavoja 2-5. Kuvioista huomataan, että pienen alustaluvun seurauksena momentin arvo on suurempi. Raskaasti kuormitettujen laattojen alla tulisi käyttää siis kantavaa alustaa, jotta laattaa olisi mahdollista rasittaa suuremmilla kuormilla.



Kuvio 9. Alustaluvun vaikutus momentin suuruuteen.

Pistekuorman sijainnilla on suuri vaikutus halkeamissuuntiin, momenttiin ja pohjanpaineeseen. Kuviossa 10 on tutkailtu pistekuorman sijainnin vaikutusta momentin suuruu-

teen kaavojen 2-12 perusteella. Laskennassa on käytetty samoja arvoja kuin yläpuolisessa tapauksessa.



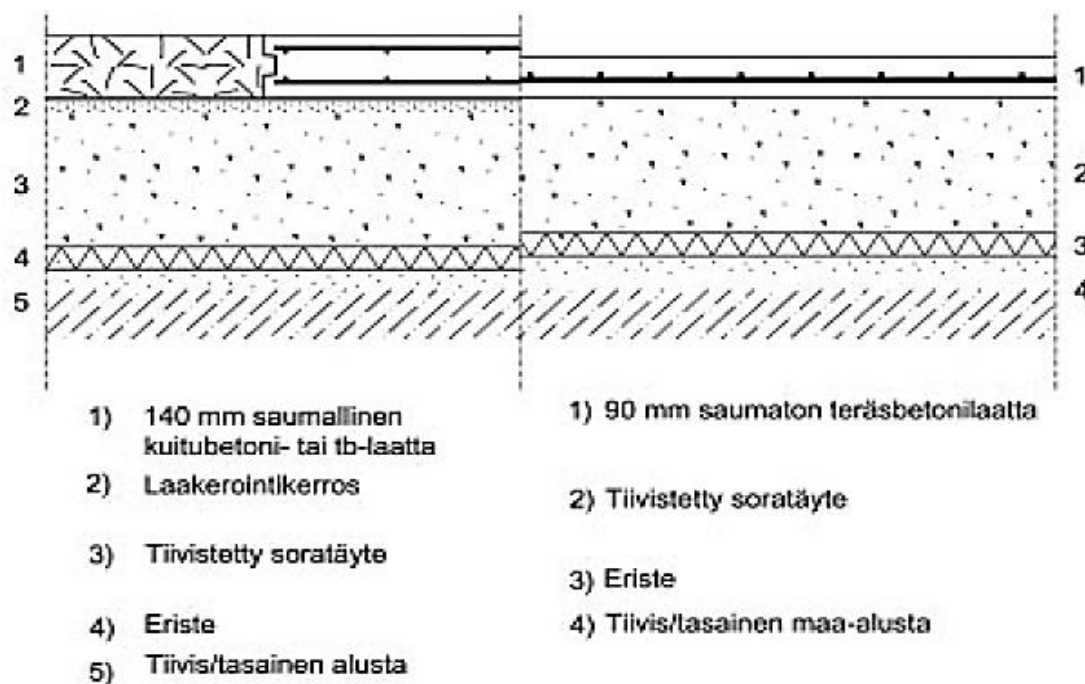
Kuvio 10. Pistekuorman sijainnin vaikutus momentin suuruuteen.

Kuviosta huomataan, että mitoittava positiivinen momentti on laatan reunalla ja mitoittava negatiivinen momentti on laatan nurkassa. Laatan reunat tulee vahvistaa raudoituksella, jos reuna-alueille kohdistuu suuria pistekuormia. Kuvio osoittaa, että raskaasti kuormitetuissa tiloissa tulisi saumarakenteita välttää niiden heikkouden vuoksi.

7.1.2 Paksuus

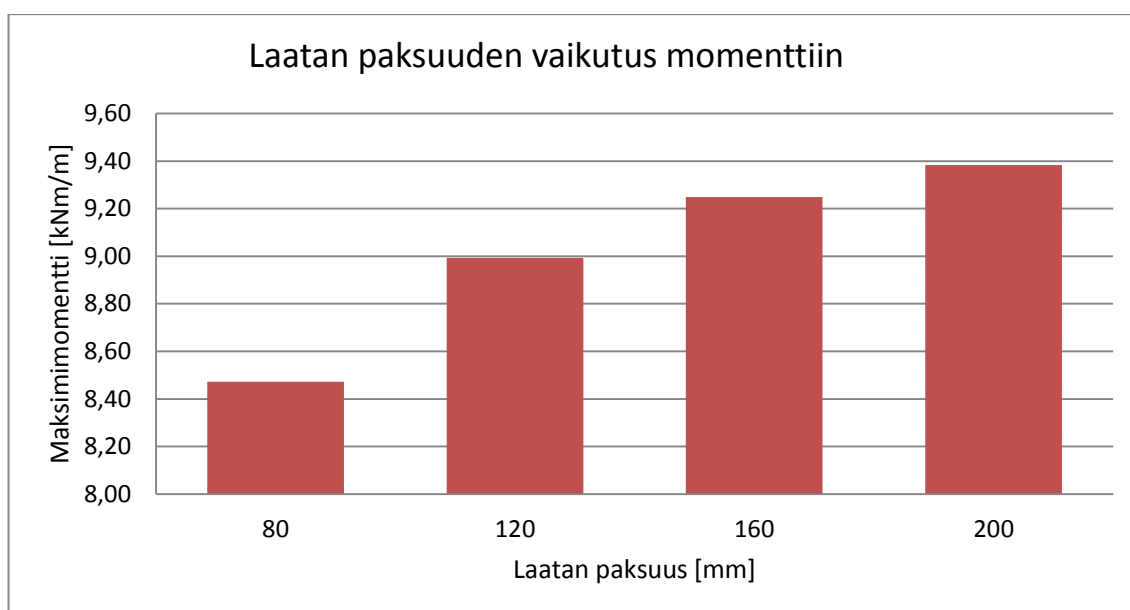
Laatan paksuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat pistekuorman suuruus ja alustan kantavuus. Myös saumoilla voidaan vaikuttaa laatan paksuuteen ja raudoitukseen.

Saumaton laatta mahdollistaa noin 2/3 ohuemman laatan kuin saumallinen laatta. Kuvassa 25 on esitetty vasemmalla puolella saumallinen laatta ja oikealla puolella saumaton laatta. Molemmilla laatoilla on sama pistekuormakestävyys. Ohut laatta nopeuttaa kuivumista ja säästää materiaalia, mikä mahdollistaa nopeammat aikataulut ja säästämisen kustannuksissa. [13, s. 41.]



Kuva 25. Vasemmalla puolella on saumallisen laatan esimerkkirakenne ja oikealla puolella saumattoman laatan esimerkkirakenne [19, s. 37].

Ylipaksu laatta aiheuttaa suurempia vetovoimia betonin kutistuessa, minkä takia paksumpi laatta tarvitsee enemmän raudoitusta. Tällöin halkeilun määrää ja halkeamien kokoa pystytään paremmin hallitsemaan. Kuviossa 11 on vertailtu laatan paksuuden vaikutusta momentin suuruuteen. Pistekuorma vaikuttaa laatan keskellä. [19, s. 34.]

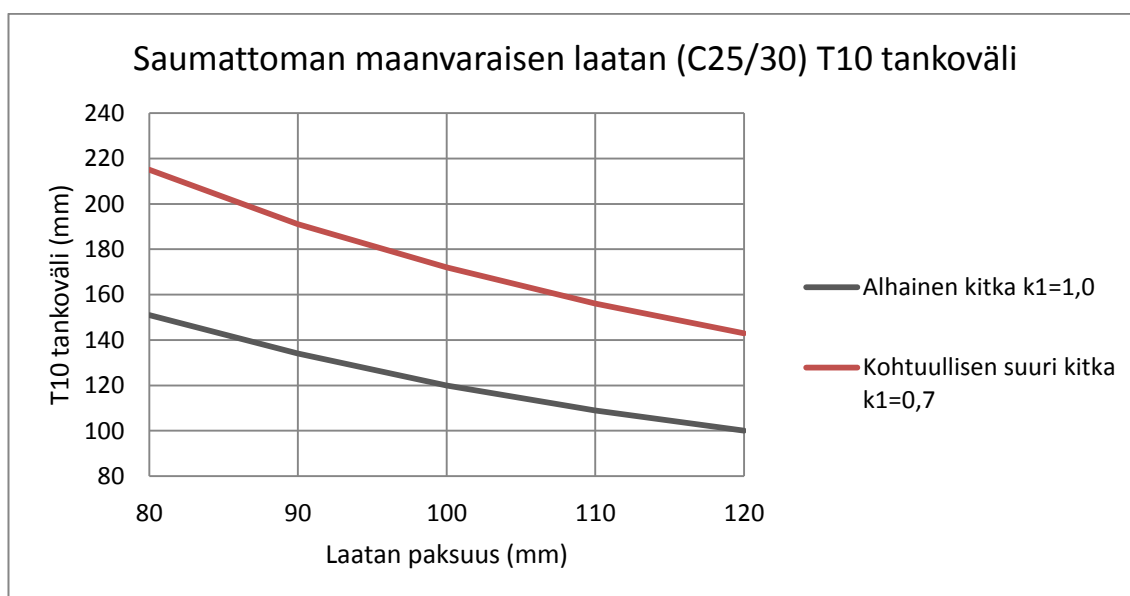


Kuvio 11. Laatan paksuuden vaikutus momentin suuruuteen.

Momentin suurus on huomattavasti pienempi laatan paksuuden ollessa 80 mm, kuin sen ollessa 120 mm. 120 mm:n jälkeen momentin suurus ei kasva yhtä huomattavasti.

7.1.3 Saumat

Kuviossa 12 on esitetty kaavalla 13 laskettu rauditusmäärän tankoetäisyys T10 raudituksella (vertikaali akseli) eri paksuisilla laatoilla (horisontaali akseli) betonin ollessa lujuudeltaan C25/30. Punainen käyrä kuvastaa tilannetta, jossa alustan ja laatan välissä on kohtuullisen suuri kitka, kuten tiivistetty sepeli. Harmaa käyrä kuvastaa tilannetta, jossa laatan ja alustan välillä on alhainen kitka, kuten alapuolelta lämmöneristetyissä laatoissa. Kuvion perusteella voidaan päätellä alhaisen kitkan aiheuttavan suuremman raudoitustarpeen kuin kohtuullisen suuri kitka. [13, s. 9-10.]



Kuvio 12. C25/30 betonin tarvitsema tankoetäisyys T10 tangoilla.

Laatta, jossa on kohtuullisen suuri kitka, tarvitsee noin 30 % vähemmän raudoitusta kuin laatta, johon vaikuttaa alhainen kitka. Jos laatan alle halutaan sijoittaa lämmöneriste, se tulisi sijoittaa ylimmän täyterokoksen alle. Eriste tukeutuu paremmin alustaansa vasten ja alustasta tulee jäykempi, kun lämmöneristeen päällä on 300 mm hyvin tiivistettyä sepeliä. [19, s. 34.]

Ohuissa saumattomissa laatoissa halkeilua hallitaan riittävällä kitkavoimalla alustan ja laatan välissä, sekä riittävällä määrällä rautaa. Tällöin halkeamavälit ja -leveydet ovat

käyttövaatimuksiin nähden riittävän pienet. Ohuet laatat ovat herkkiä vähäisillekin virheille. Niissä on tärkeää huomioida raudoituksen sijainti sekä pohjan ja laatan tasaisuus. [2, s. 31], [4, s. 66.]

7.2 Tutkimuskohde

Insinööriyön tutkimuskohteena toimii Sipoon logistiikkakeskus, joka sijaitsee Sipoon ja Keravan rajalla. Logistiikkakeskuksen projektiurakoitsijoina toimi Lemminkäinen Talo Oy. Rakennus on S-ryhmän käyttötavaran logistiikkakeskus, jonka rakennustyöt aloitettiin vuoden 2009 lopussa ja kohde valmistui maaliskuussa 2012. [44, s. 68.]

Sipoon Logistiikkakeskuksen maanvaraiset betonilattiat (kuva 26) on tehty kutistumakompensoidusta kuitubetonista ilman työsaumoja. Työsaumattomat lattiat mahdollistavat suuremmat nopeudet trukeilla ja kaluston paremman keston. Kohteessa lattiaurakoitsijana toimi Primekss Suomi Oy. [44, s. 68.], [45.]



Kuva 26. Sipoon Logistiikkakeskus [45].

Sipoon logistiikkakeskuksen lattioiden tekeminen aloitettiin syksyllä 2010, jolloin rakennuksen vaippa oli suljettu. Suljetulla vaipalla estettiin ilmavirtojen pääsy rakennukseen.

Aikataulut laadittiin niin, ettei betonilattioita tehty talvisaikaan. Lattiat tehtiin kerralla kuntoon periaatteella. [44, s. 68-69.]

Sisäpuolisia maanvaraisia lattioita kohteessa on 56 000 m² ja ne sisältävät kuitua noin 35- 40 kg/m³. Lattioiden paksuudet vaihtelevat 130- 220 mm välillä. Pintabetonilattioita on 18 000 m² ja niiden paksuus on 80 mm ja ne sisältävät kuitua noin 25 kg/m³. Kuitumäärä varmistettiin pesutestein. [44, s. 71.]

Lattioiden alustasta otettiin levykuormituskokeet, joiden avulla varmistettiin kantavuuden vastaavan suunnitelmia. Lattian alusta tasattiin toleranssilla ± 5 mm, minkä jälkeen pilareiden ympärille ja seinien vierustoille asennettiin valukaistat. Valualueiden reunoille asennettiin liikuntasaumaraudoitteet sekä suunnitelmien mukaiset muut lisäraudoitukset. [46.], [47.]

Lattiaurakoitsijan tilaama betoni toimitettiin työmaalla niin sanotusti raakabetonina eli betoni ei sisältänyt lisäaineita eikä kuituja. Urakoitsija tarkisti betonimassan laadun visuaalisesti ja satunnaisina painumakokeina. Hyväksytyihin betonimassoihin lisättiin työmaalla kaikki tarvittavat lisäaineet ja kuidut. Kuitujen lisäykset tehtiin tarkoitukseen sopivalla puhallinlaitteella pyörintasäiliöautoon (kuva 27). [46.], [47.]



Kuva 27. Kuidut puhallettiin betoniin puhallinlaitteella [47].

Valmis betonimassa siirrettiin dumpperiin, jonka avulla massa kuljetettiin valualueelle (kuva 28). Dumpperin avulla massa jaettiin tasaisesti valualueelle, minkä ansiosta massan levittäminen käsivoimin jäi vähäiseksi. [45, s. 69.], 46.]



Kuva 28. Betonin siirto dumpperilla [45, s. 69].

Betonin tiivistys ja tasoitus tehtiin laserohjatulla tärytinpalkilla (kuva 29). Lattiapinnan tasaisuustoleranssit täyttivät A₀-luokan tasaisuusvaatimukset yksittäisissä ruuduissa (2000-4000 m²). Kokonaistoleranssi oli ±10 mm 27000 m² alueella. [45, s. 70.], [56.], [26.]



Kuva 29. Laserohjattu täräpalkki [45, s. 70].

Lattioiden paksuudet vaihtelevat 130- 220 mm:n välillä ja valuruutujen koko välillä 2000 - 4000 m². Kohteeseen tehtiin sirotepinnoitettu lattia, joka kestää erittäin kovaa kulutusta. Lattian hiertämisen jälkeen sen tasaisuus mitattiin mittalaitteistolla, pinta kasteltiin ja levitettiin jälkihoitopeite minimoimaan halkeiluriskit. Jälkihoitoa jatkettiin noin kaksi viikkoa (kuva 30). [45.], [46.], [47.]



Kuva 30. Lattian jälkihoitovaihe [47].

Kohteeseen tehtiin 15 000 m² rakennuksen ulkopuolista betonilattiaa, joka tehtiin perinteisellä raudoituksella. Raudoituksena yläpinnassa käytettiin T12 k150 ja alapinnassa T12 k200 (laatan paksuus 230 mm). Valut tehtiin kiskoilla liikuteltavassa suojateltassa, joka turvasi valuolosuhteet. [45, s. 71.], [46.]

Logistiikkakeskuksen lattioiden tasaisuudessa, kulutuskestävyydessä ja saumattomuudessa onnistuttiin. Sipoon Logistiikkakeskuksen lattiat olivat pitkään valun jälkeen halkeilemattomia. Ensimmäiset halkeamat ovat muodostuneet lattioihin vasta kesällä, kahden vuoden kuluttua valutöistä. Syntyneet halkeamat on injektoitu, mutta halkeamisen syntymisen syy on urakoitsijoille epäselvä. [46.]

7.3 Johtopäätökset

Eri tekijöillä on suuri merkitys lattian onnistumisessa. Raskaasti kuormitetut betonilattiat tarvitsevat kantavan alustan painumien välttämiseksi ja mahdollistamaan suuremmat kuormitukset. Kantavuuden suuruuteen voidaan vaikuttaa eniten laadukkaalla ja hyvin

tiivistetyllä perusmaalla. Lämmöneriste heikentää alustan kantavuutta ja sillä ei saada suurtakaan lämmönerityksellistä hyötyä laaja-alaisissa rakennuksissa.

Ohut laatta on mahdollista raudoittaa rullaraudoituksen avulla, mutta sitä käytettäessä on oltava erityisen huolellinen. Valmiit raudoituskokonaisuudet limittyvät helposti raudoitteiden liittymäkohdissa. Haasteena on löytää urakoitsija, joka pystyy tekemään vaatimukset täyttävän raudoituksen. Raudoituksen valinnassa on huomioitava myös käytännöllisyys työmaan kannalta. Esimerkiksi raudoitusrullien siirtäminen nostolaitteilla, pienillä työmailla, tai suojatelttojen sisään on haasteellista. Kuitubetoni on myös yksinkertainen menetelmä tehdä raudoitus, mutta sen kanssa on oltava huolellinen, että lattian poikkileikkaus sisältää riittävän määrän kuitua.

Saumatonta laattaa kannattaa suosia raskaasti kuormitetuissa kohteissa. Saumaton laatta mahdollistaa vapaamman hyllyjen sijoittelun ja helpottaa ajoneuvoilla ajamista lattian päällä. Saumakohdat halkeilevat, käyristyvät ja heikentävät rakennetta sekä kasvattavat momentin arvoa. Saumattoman laatan halkeilua voidaan hallita kitkavoiman ja suuren raudoituksen avulla. Laatan alla on mahdollista käyttää myös kitkaa pienentävää laakerointikerrosta tai muovia. Muovia käytettäessä on tunnettava rakenteen fysikaaliset ominaisuudet. Pieni kitka mahdollistaa laatan vapaan kutistumisen ja vähäisemmän raudoitus määrän. Suuri kitka ja raudoituksen avulla hallittu halkeilu toimii ainakin teoriapohjoisesti.

Ohuet laatat eivät tarvitse yhtä paljon raudoitusta kuin paksut laatat. Paksuun laattaan kohdistuu laatan kuivuessa suurempia vetovoimia, joita hallitaan suuremmalla rautamäärällä. Betonin laatuun, ja erityisesti sen lujuuteen, tulee kiinnittää huomiota. Myös vetoviruman merkityksen vähentyminen ajan kuluessa kannattaa huomioida. Vetoviruman pieneneminen ja jännityksen lisääntyminen saattavat aiheuttaa lattian halkeilun vasta vuosien kuluttua valusta.

Tutkimuksien tuloksina huomattiin, että betoni ei voi olla kokonaan halkeilematonta. Halkeamia pääsee muodostumaan, jos betonin kutistuma on estetty, ja kutistuminen kuuluu betonin perusominaisuuksiin. Halkeilua voidaan kuitenkin hallita esimerkiksi raudoituksen ja betonin koostumuksen avulla. Tutkimuksien aikana huomattiin, että valuvaiheessa halkeilemattomat lattiat saattavat halkeilla vasta vuosien kuluttua ja halkeilu tapahtuu usein lämpimän kauden aikana. Haluttaessa tarkempi kuva lattioiden halkeilusta tarvittaisiin useamman vuoden tutkimus.

8 Yhteenveto

Raskaasti kuormitettuihin maanvaraisiin betonilattioihin kohdistuu suuria pistekuormia hyllyistä, ja dynaamisia kuormia ajoneuvoista. Lattian mitoituksessa on huomioitava kahden lähekkäin olevan pistekuorman vaikutus. Kaksi pistekuormaa aiheuttaa huomattavasti suuremman momentin verrattuna yhteen pistekuormaan. Lisäksi on huomioitava laatan vapaalla reunalla ja nurkassa olevan pistekuorman vaikutus mitoituksessa.

Betonin kutistuminen ja vetojännityksen ylittyminen ovat betonilattian yleisimpiä halkeilun syitä. Varhaisessa vaiheessa tapahtuva halkeilu on erittäin haitallista tuoreelle ja sitoutumisvaiheessa olevalle betonimassalle. Tällöin betonin pinnalle syntyy helposti halkeamia. Nämä halkeamat voidaan peittää hierrolla tai muulla pinnan viimeistelyllä, mutta syvälle ulottuvat halkeamat heikentävä rakennetta. Näihin heikkoihin kohtiin kohdistuu myöhemmässä vaiheessa kutistumisesta ja kuivumisesta aiheutuvat liikkeet, jolloin rakenteessa oleva halkeama saattaa ulottua koko rakenteen läpi.

Laatan saumajaolla on suuri merkitys laatan halkeiluun sekä sen paksuuteen ja rauditus tarpeeseen. Saumallisen laatan toimivuus perustuu halkeilun estämiseen riittävän lyhyillä jänneväleillä sekä pienellä kitkalla alustan ja laatan välissä. Saumattomissa laatoissa katsotaan eduksi suuri kitka. Saumattomissa laatoissa käytetään suurempaa rautamäärää, jonka avulla laatan annetaan halkeilla hallitusti. Saumat ovat laatan heikoin kohta, koska ne usein halkeilevat ja ne käyristyvät kosteuserojen vuoksi. Saumaton laatta on kustannustehokas lattiavaihtoehto ja se mahdollistaa kireämmät aikataulut.

Huonosti toteutetun ja suunnitellun laatan korjauskustannukset saattavat usein nousta suuremmiksi kuin kerralla hyvin tehdyn laatan kokonaiskustannukset. Huonosti tehty laatta joudutaan korjaamaan tai se puretaan kokonaan ja tehdään tilalle uusi laatta. Ennen laatan korjausta tai uusimista tulee selvittää halkeilun syy, jotta voidaan valita oikea tapa lattian korjaukseen ja tulevaisuudessa mahdollisesti ehkäistä halkeilu. Betonilattian suunnitteluun ja toteutukseen kannattaa varata riittävästi aikaa, resursseja ja rahaa.

Lähteet

- 1 Betonilattia kortisto. Verkkodokumentti. < <http://www.rudus.fi/aineistot/ohjeet>> Luettu 30.1.2014
- 2 Matsinen, Martti. 2012. Betonilattioiden suunnittelusta ja toteutuksesta. Betonilehti 1/2012. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/betoni-lehti/arkisto/2012-1>> Luettu 21.2.2014
- 3 Meriläinen, Teuvo. 2007. Raskaasti kuormitettujen lattioiden liikuntasaumat – miksi saumoja tarvitaan. Betonilehti 1/2007. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/betoni-lehti/arkisto/2007-1>> Luettu 7.1.2014
- 4 Suomen Betoniyhdistys ry. 2000. Betonilattiat 2000 BLY 7 / by 45. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- 5 Pekkala, Vilho. 2010. Betonilattiat; Yleisimmät virheet ja niiden välttäminen. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/Download/22524/Pekkala%20betonilattian%20yleisimm%C3%A4t%20virheet%20ja%20v%C3%A4litt%C3%A4minen.pdf>> Luettu 27.11.2013
- 6 Rudus-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.rudus.fi/aineistot/rudus-koulut/betonikoulu/osa-3-betonin-valinta>> Luettu 31.12.2013
- 7 Rudus-kotisivut. Rudus info 2005/2 Maanvarainen betonilattia ja alustarakenteet. Verkkodokumentti. <<http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>> Luettu 16.3.2014
- 8 Betoniteollisuus-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/betonityot/jalkihoito>> Luettu 28.1.2014
- 9 Räisänen, Vesa. .Maanvaraisten lattioiden toiminta. Verkkodokumentti. <[http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/32084E7F4B5787A7C22579F20036C430/\\$file/Maanvaraisten%20betonilattioiden%20toiminta%20Vesa%20R%C3%A4s%C3%A4nen.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/32084E7F4B5787A7C22579F20036C430/$file/Maanvaraisten%20betonilattioiden%20toiminta%20Vesa%20R%C3%A4s%C3%A4nen.pdf)> Luettu 8.11.2013
- 10 Finnfoam-kotisivut. Verkkodokumentti. <http://www.finnfoam.fi/kaytto_koh-teet/alapohja/maanvarainen-alapohja/> Luettu 10.1.2014
- 11 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2000. RIL 132 -2000 Talonrakennuksen maarakenteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 12 Suomen Betoniyhdistys ry. 2014. Betonilattiat 2014 BLY 7 / by 45. Helsinki: By-Koulutus Oy.

- 13 Ålander, Casper. 2010. Saumattomat betonilattiat; suunnittelu ja toteutus. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/Download/22525/Saumaton%20mv-laatta%20Bet%20pv.pdf>> Luettu 29.11.2013
- 14 Meriläinen, Teuvo. 2012. Teräskuitubetonin käyttö. Verkkodokumentti. <<http://www.bly.fi/File/2012-5Merilainen.pdf?rnd=1356604168>> Luettu 8.11.2013
- 15 Hietala, Aalto. 2011. Betonin kutistuman hallinta. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/tapahtumat/betonipaivat-ja-nayttely-2014/betonipaivat-2011>> Luettu 8.11.2013
- 16 Suomen Betoniyhdistys-kotisivut. 2009. Betonitekniiikan oppikirja 2004 by 201. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- 17 Komonen, Juha. 2012. Betonilattioiden kutistuminen. Verkkodokumentti. <<http://www.bly.fi/File/2012-1Komonen.pdf?rnd=1356604064> > Luettu 6.1.2014
- 18 Rudus-kotisivut. Rudus info 2010/1 Betonin kutistuma ja sen huomioiminen. Verkkodokumentti. < <http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>> Luettu 6.1.2014
- 19 Ålander, Casper. 2009. Saumattomat maanvaraiset laatat. Betonilehti 1/2009. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/betoni-lehti/arkisto/2009-1>> Luettu 7.1.2014
- 20 Betoni-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/mita-betonin-valmistuksessa-tehdaan>> Luettu 29.11.2013
- 21 Koivisto, Maritta - Saarinen, Sirkka. Betoni lehti 3/2011. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/betoni-lehti/arkisto/2011-3>> Luettu 7.2.2014
- 22 Leivo, Markku ym.2000. Betonin kutistuma. Betonilehti 3/2000. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/betoni-lehti/arkisto/2000-3>> Luettu 4.1.2014
- 23 Tiehallinto-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1233.pdf>> Luettu 4.1.2014
- 24 Rudus-kotisivut. Verkkodokumentti < <http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>> Luettu 10.1.2014
- 25 Tiehallinto-kotisivut. Verkkodokumentti. <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/muotoiluvaluselosetus_2006.pdf> Luettu 5.1.2014
- 26 Petrow, Seppo. 2010. Maanvaraiset betonilattiat. Betonilehti 2010/1. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/betoni-lehti/arkisto/2010-1>> Luettu 7.1.2014

- 27 Rudus-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.rudus.fi/aineistot/rudus-koulut/betonikoulu/osa-1-talvibetonointi>> Luettu 28.11.13
- 28 Kalliomäki, Jouni. 2012. Lehtori. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Betonirakenteiden suunnittelu. Halkeilu.
- 29 Suomen betonilattaiyhdistys- kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.bly.fi/File/bly211.pdf>> Luettu 24.10.2013
- 30 Celsa Steel Service-kotisivut. Verkkodokumentti. <[http://celsa-steelservice.fi/tuotteet /bamtec/](http://celsa-steelservice.fi/tuotteet/bamtec/)> Luettu 8.11.2013
- 31 Suomen Betoniyhdistys ry. 2012. Polymeerikuidut betonissa 2012 by BLY 13. Verkkodokumentti. <http://www.betoniyhdistys.fi/default/?__EVIA_WYSIWYG_FILE =3576&name=file> Luettu 10.1.2014.
- 32 Matsinen, Martti. Kuitubetonilattioiden suunnittelu. Verkkodokumentti. <<http://www.slideshare.net/PiiMat/betonilattiat-2013-1125-kuitubetonilattiat>> Luettu 10.1.2014
- 33 Piimat-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.piimat.fi/datafiles/userfiles/onet/file/ TeollisuuslattiatWeb.pdf>> Luettu 21.2.2014
- 34 Laakkonen, Timo. Päävalvoja, Projektipalvelu Tila Oy. Haastattelu 26.2.2014
- 35 Finnsementti-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/lisaaaineet>> Luettu 7.2.2014
- 36 Finnsementti-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/lisaaaineet/notkistimet>> Luettu 7.2.2014
- 37 Anttila, Vesa. Lattiabetonit; Betonin valintakriteerit, pinnoitettavat lattiat. Verkkodokumentti. <<http://www.bly.fi/File/1SeppoPetrov.pdf?rnd=1365497684>> Luettu 8.11.2013
- 38 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2002. RIL144-2002 Rakenteiden kuormitus ohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- 39 Matsinen, Martti. Betonirakenteiden korjaaminen. Verkkodokumentti. <<http://www.slideshare.net/PiiMat/betonirakenteiden-korjaaminen-flexcrete-tuotteilla>> Luettu 10.1.2014
- 40 Matsinen, Martti. 2012. Maanvaraiset betonilattiat – saumoilla vai ilman. Verkkodokumentti. <<http://www.slideshare.net/PiiMat/maanvarainen-lattia-saumoilla-vai-ilman>> Luettu 27.11.2013

- 41 Suomen betonilattiayhdistys-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.bly.fi/File/bly211.pdf>> Luettu 24.10.2013
- 42 Suomen betonilattiayhdistys-kotisivut. Verkkodokumentti. <<http://www.bly.fi/File/bly-3.pdf?rnd=1290757363>> Luettu 14.1.2014
- 43 TPU-Maalaus-kotisivut. Verkkodokumentti. <http://www.tpu-maalaus.fi/?page_id=388> Luettu 21.3.2014
- 44 Saarinen, Sirkka. 2011. Logistiikkakeskus Sipoossa: Hyvin tehtyä betonilattiaa sisällä ja ulkona. Betoni lehti 4/2011. Verkkodokumentti. <<http://www.betoni.com/betoni-lehti/arkisto/2011-4>> Luettu 28.2.2014
- 45 Peltoranta, Jari. 2012. SOK:n Sipoon logistiikkakeskus. Projektuutiset 2/2012. Verkkodokumentti. <<http://www.projektuutiset.fi/fi/artikkelit/sokn-sipoon-logistiikkakeskus>> Luettu 28.2.2014
- 46 Manninen, Seppo. Vastaava mestari, Lemminkäinen Talo Oy. Haastattelu 26.2.2014
- 47 Primekss Suomi Oy. Työnkuvaus; Sipoon logistiikkakeskuksen maanvaraiset kuitubetonilattiat.
- 48 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
- 49 Eurocodes-kotisivut. Verkkodokumentti. <http://www.eurocodes.fi/1992/paasi-vu1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet.pdf> Luettu 28.1.2014

Halkeiluleveyden laskeminen ja rajoittaminen

Halkeilu ei saa heikentää rakenteen toimivuutta, säilyvyyttä tai ulkonäköä. Halkeamaleveys voidaan tarkastella EN-1992-1-1 mukaisesti erikseen pitkäaikaiselle ja lyhytaikaiselle kuormitukselle. [28.], [48, s. 117.],

Halkeamaleveys w_k lasketaan kaavasta 14:

$$w_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (14)$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ on teräksen ja betonin keskimääräisten suhteellisten venymien erotus halkeamavälillä

$S_{r,max}$ on suurin halkeamaväli [mm]

Suurin halkeamaväli $S_{r,max}$ lasketaan kaavasta 15:

$$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} \quad (15)$$

\emptyset on raudoitustangon halkaisija tai ekvivalentti halkaisija, jos erikokoisia tankoja [mm]

k_1 huomioi tankojen tartuntaominaisuudet
 $k_1 = 0,8$ kun tartunta hyvä, esim. harjateräs
 $k_1 = 1,6$ tangoille, joiden pinta on lähes sileä

k_2 huomioi venymäjakauman
 $k_2 = 0,5$ taivutukselle
 $k_2 = 1,0$ pelkälle vedolle

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

c on vedetyn raudoituksen betonipeite [mm]

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

A_s on raudoituksen poikkileikkausala [mm²]

$A_{c,eff}$ on betoniteräksiä tai jänneteräksiä ympäröivän, vetojännityksen alaisen betonialueen tehollinen pinta-ala, kun alueen korkeus on $h_{c,ef}$, missä $h_{c,ef}$ on pienin arvoista $2,5(h - d)$, $(h - x)/3$ ja $h/2$ [mm²]

Vetoraudoituksen betonipeite c lasketaan kaavasta 16:

$$c = e_1 - \frac{\phi_a}{2} \quad (16)$$

e_1 on vedetyn raudoituksen betonipeite vedetyn raudoituksen betonipeite [mm]

ϕ_a on alapinnan tangon ala [mm²]

Vetojännityksen alaisen betonialueen tehollinen pinta-ala lasketaan kaavalla 17:

$$A_{c,eff} = b \cdot \min \begin{cases} 2,5 \cdot (h - d) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{cases} \quad (17)$$

b on rakenteen leveys [mm]

d on rakenteen tehollinen korkeus [mm]

h on rakenteen korkeus [mm]

x on halkeillut betoni [mm]

Teräksen ja betonin keskimääräisten suhteellisten venymien erotus halkeamavälillä lasketaan kaavalla 18:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (18)$$

σ_s on teräksen jännitys [N/mm²]

E_s on raudoituksen kimmokerroin [N/mm²]

α_e on suhde E_s/E_{cm}

$f_{ct,eff}$ = f_{ctm} tai pienempi arvo $f_{ctm}(t)$, jos halkeamat syntyvät alle 28 vrk iässä [N/mm²]

k_t on kerroin, joka riippuu kuormituksen vaikutusajasta

$k_t = 0,4$ pitkäaikaikuormituksille

$k_t = 0,6$ lyhytaikaikuormituksille

[28.], [48, s. 123-124.]

Halkeamien muodostumista voidaan sallia rakenteeseen, mutta niiden suuruutta tulee rajoittaa niin, etteivät ne haittaa rakenteen toimintaa. Laskennallisen halkeamaleveyden suositusarvo w_{max} määritetään taulukon 3 mukaan huomioimalla rakenteen rasitusluokat. [48, s. 118.]

Taulukko 3. Halkeamaleveyden suositusarvo [48, s. 118].

| Rasitusluokka | Teräsbetonirakenteet ja tartunnattomat ankkurijännerakenteet | Tartuntajännerakenteet ja injektoidut ankkurijännerakenteet |
|---|--|---|
| | Pitkäaikainen kuormayhdistelmä | Tavallinen kuormayhdistelmä |
| X0, XC1 | 0,4 ¹ | 0,2 |
| XC2, XC3, XC4 | 0,3 | 0,2 ² |
| XD1, XD2, AC XD3 AC , XS1, XS2, XS3 | | Vetojännityksetön tila |
| HUOM. 1 Rasitusluokkien X0 ja XC1 yhteydessä halkeamaleveydellä ei ole vaikutusta säilyvyyteen, ja tämä raja on asetettu, jotta tavallisesti saavutetaan kelvollinen ulkonäkö. Jos ulkonäköehtoja ei aseteta, tätä rajaa voidaan väljentää. | | |
| HUOM. 2 Näiden rasitusluokkien yhteydessä tarkistetaan myös, ettei vetojännitystä esiinny kuormien pitkäaikaisen yhdistelmän vallitessa. | | |

Maanvaraisissa laatoissa suositeltava rasitusluokka on XC1, jonka halkeamaleveys ei saa olla suurempi kuin 0,4 mm pitkäaikaisyhdistelmällä, ellei rakenteelle ole annettu erikoisvaatimuksia, esimerkiksi vesitiiviyydestä tai voimakkaasta kloridirasituksesta johtuen. Rasitusluokassa XC1 halkeaman leveydellä ei ole vaikutusta rakenteen säilyvyyden kannalta. [48, s. 118.], [49.]

Halkeilua voidaan rajoittaa myös ilman laskentaa. Jos halkeilua pitää rajoittaa, se voidaan toteuttaa taulukkomitoituksella. Taulukkomitoituksessa rajoitetaan tankojen enimmäishalkaisijaa (taulukko 4) tai tankojakoa (taulukko 5). [28.]

Taulukko 4. Tangon enimmäishalkaisija halkeamaleveyden rajoittamiseksi [48, s. 122].

| Teräsjäännitys [MPa] (ks. Huom. 2) | Suurin tankokokoo [mm] | | |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | $w_k = 0,4 \text{ mm}$ | $w_k = 0,3 \text{ mm}$ | $w_k = 0,2 \text{ mm}$ |
| 160 | 40 | 32 | 25 |
| 200 | 32 | 25 | 16 |
| 240 | 20 | 16 | 12 |
| 280 | 16 | 12 | 8 |
| 320 | 12 | 10 | 6 |
| 360 | 10 | 8 | 5 |
| 400 | 8 | 6 | 4 |
| 450 | 6 | 5 | – |

HUOM. 1 Taulukon arvot perustuvat seuraaviin oletuksiin:

$$c = 25 \text{ mm}; f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}; h_{cr} = 0,5 h; (h - d) = 0,1 h; k_1 = 0,8; k_2 = 0,5; k_c = 0,4; k = 1,0; k_t = 0,4$$

HUOM. 2 Asianomaisen kuormayhdistelmän vallitessa

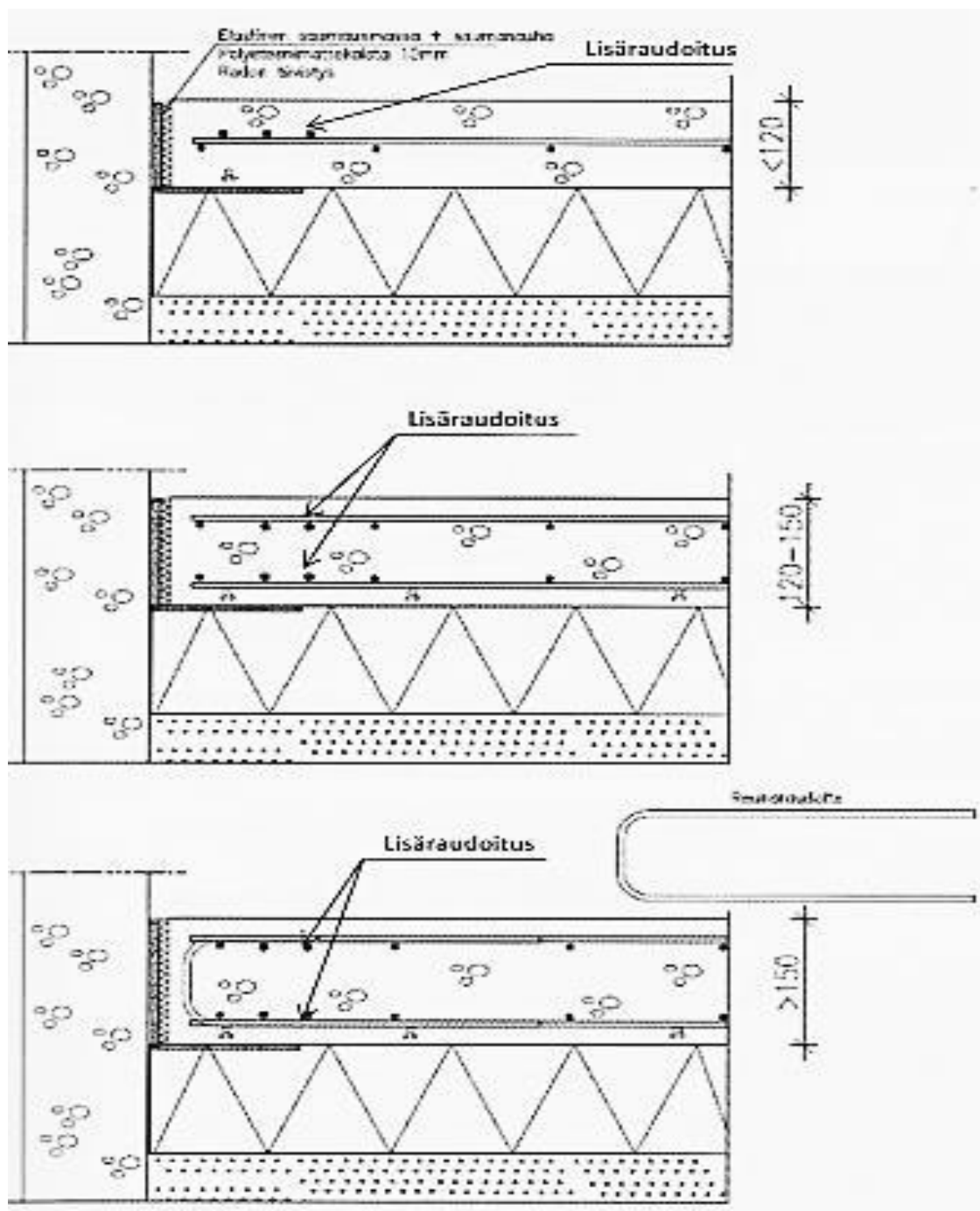
Taulukko 5. Tankojaon enimmäisarvo halkeamaleveyden rajoittamiseksi [48, s. 122].

| Teräsjäännitys [MPa] (ks. Huom. 2) | Tankojaon enimmäisarvo [mm] | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| | $w_k = 0,4 \text{ mm}$ | $w_k = 0,3 \text{ mm}$ | $w_k = 0,2 \text{ mm}$ |
| 160 | 300 | 300 | 200 |
| 200 | 300 | 250 | 150 |
| 240 | 250 | 200 | 100 |
| 280 | 200 | 150 | 50 |
| 320 | 150 | 100 | – |
| 360 | 100 | 50 | – |

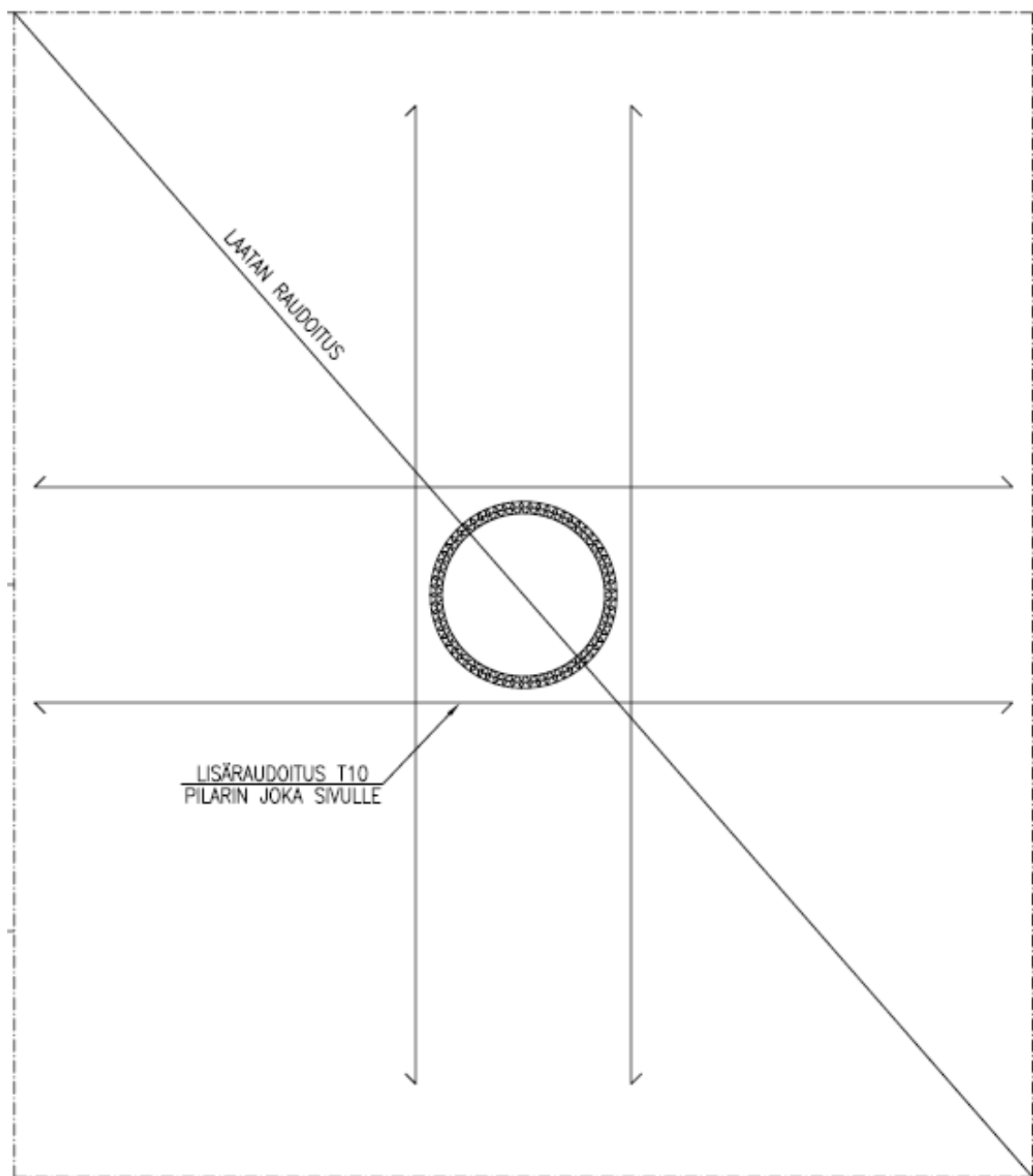
Laatoissa, joiden paksuus on enintään 200 mm, ei tarvita erityisiä halkeamaleveyden rajoittamistoimia. Laatan tulee kuitenkin täyttää sille asetetut miniraudoitus- ja tankoväli vaatimukset. [28.]

Raudoitusdetaljit

Laatan vapaan reunan raudoitus:

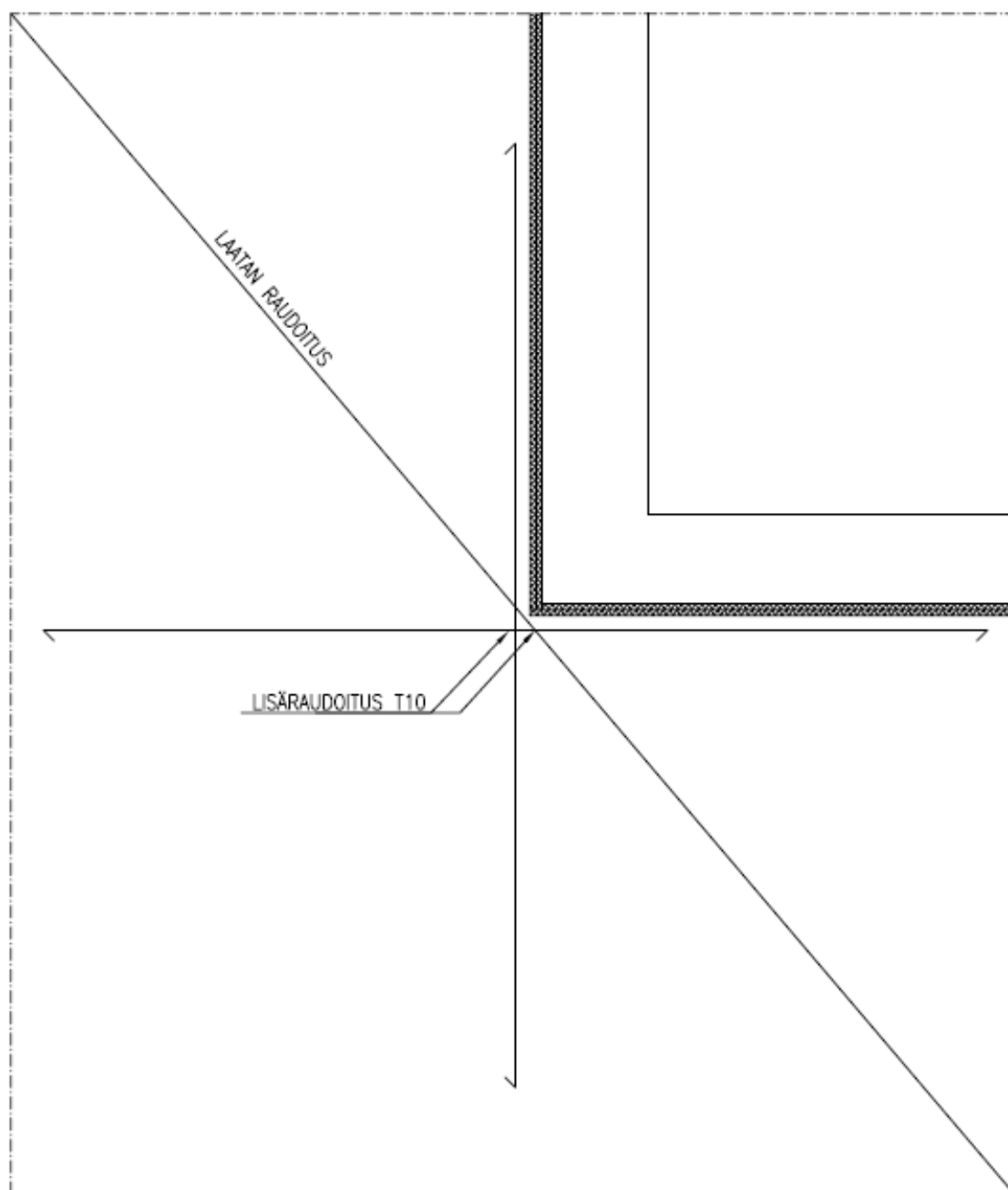


Maanvaraisen laatan lisäraudoitus pilarin ympärillä:



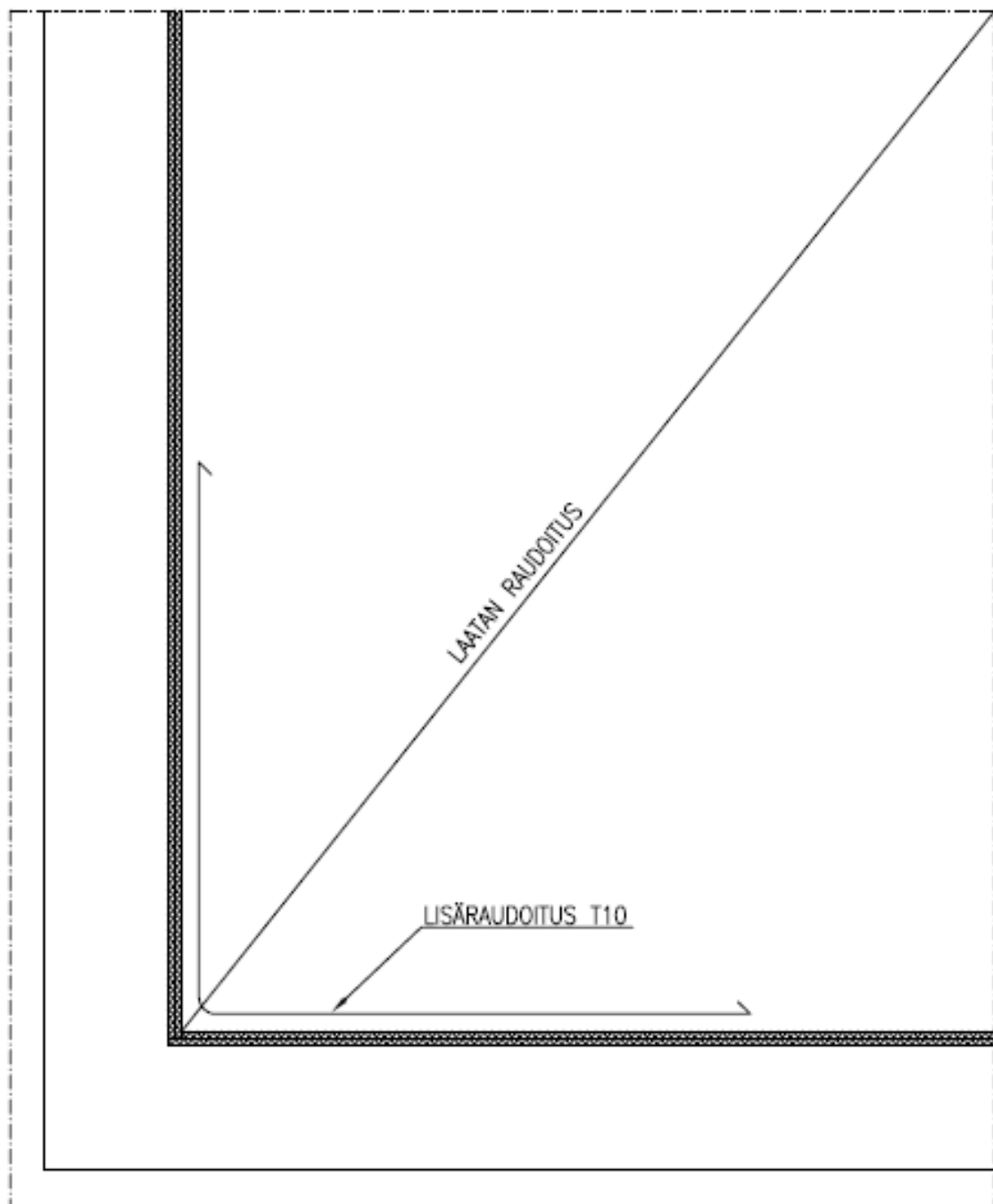
[1, s. 52.]

Maanvaraisen laatan lisäraudoitus ulkonurkassa:



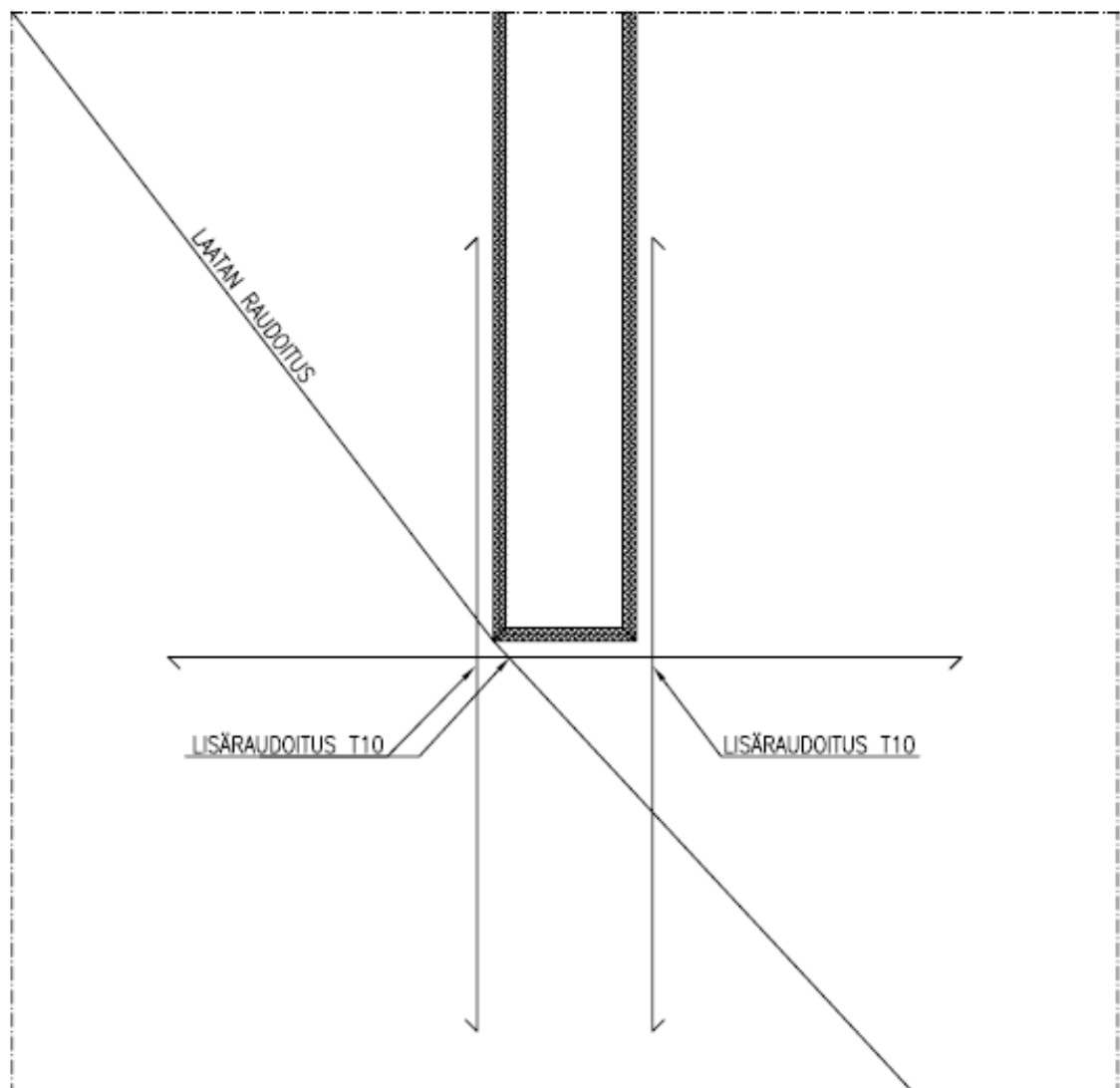
[1, s. 53.]

Maanvaraisen laatan lisäraudoitus sisänurkassa:



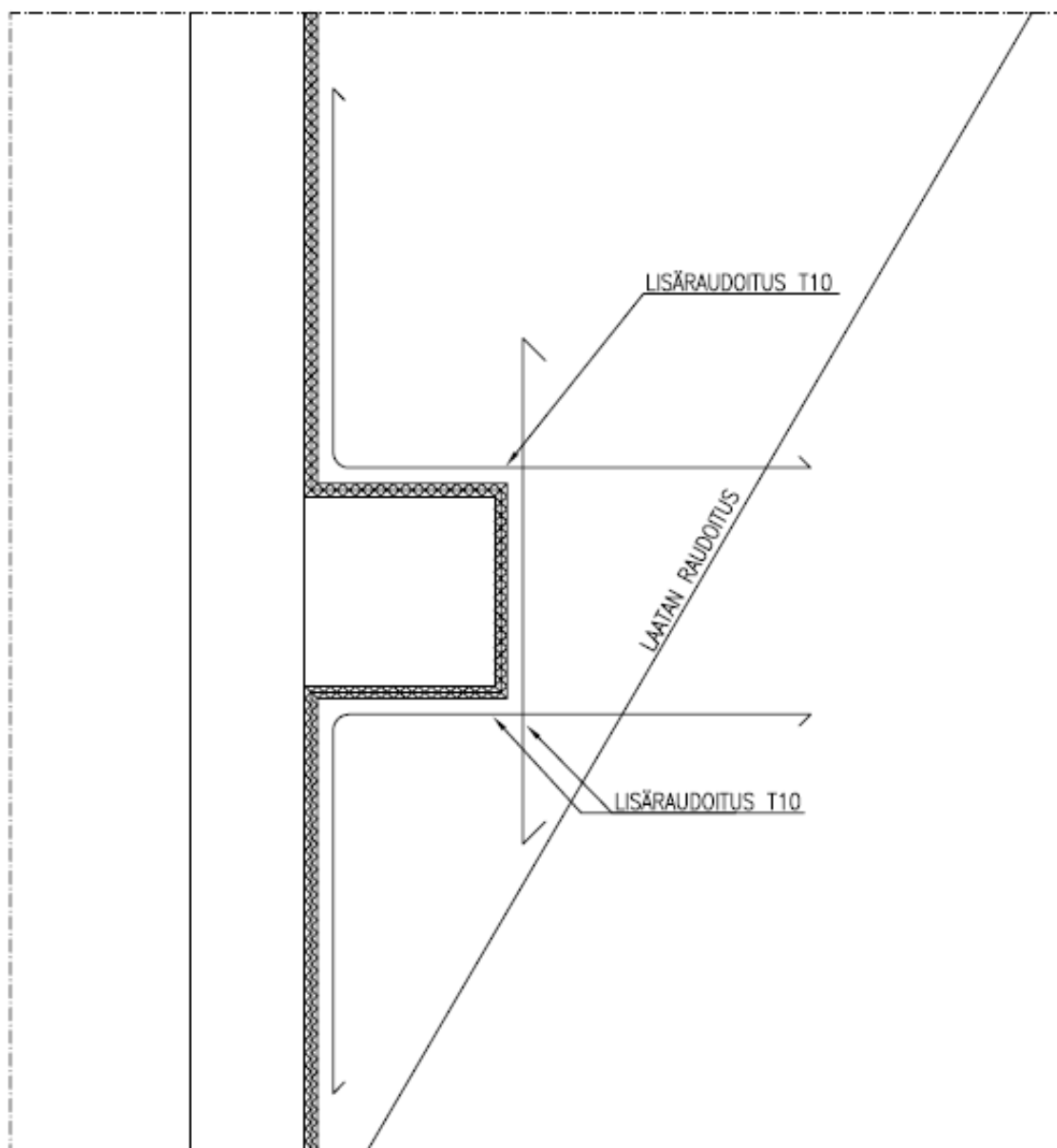
[1, s. 54.]

Maanvaraisen laatan lisäraudoitus seinän päässä:



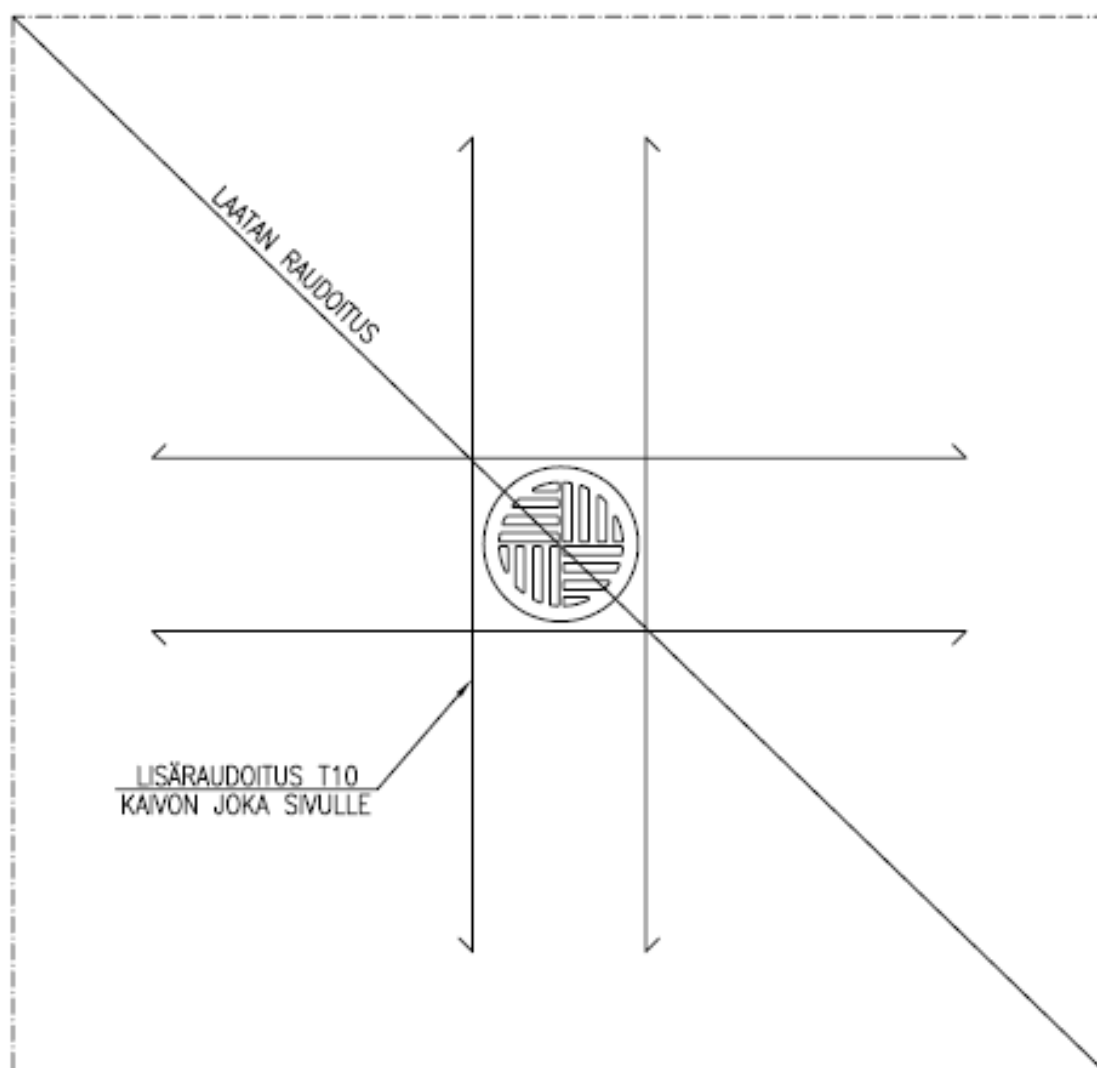
[1, s. 55.]

Maanvaraisen laatan lisäraudoitus pilasterin ympärillä:



[1, s. 56.]

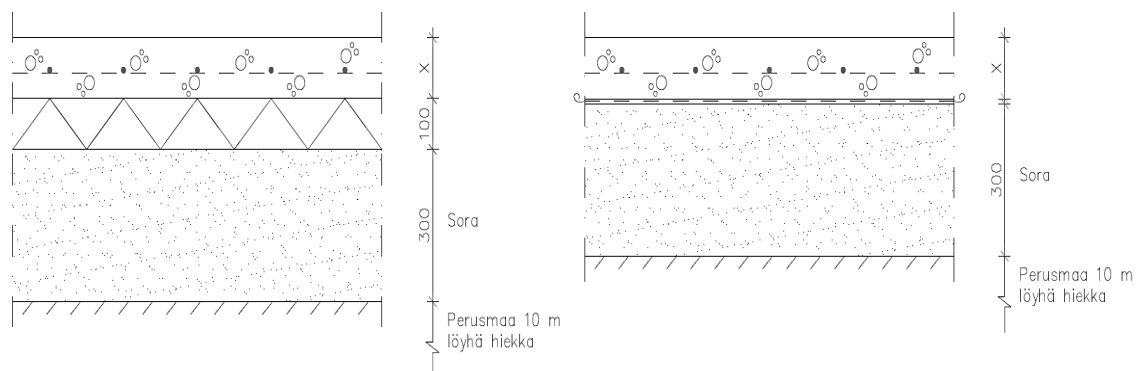
Maanvaraisen laatan lisäraudoitus kaivon ympärillä:



[1, s. 57.]

Lattioiden rakennetyypit

Tapaus 1:



Rakenne ylhäältä alas:

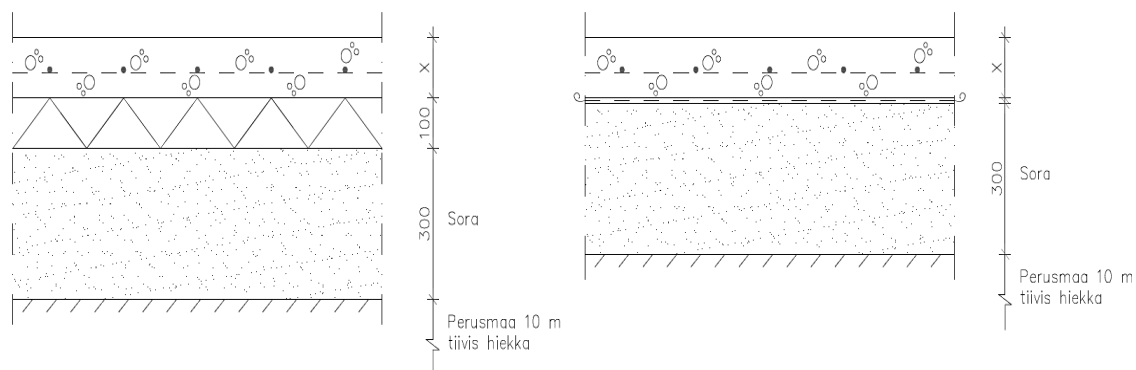
Betonilaatta 80-200 mm

Lämmöneriste 100 mm / ilman lämmöneristettä

Sora 300 mm

Perusmaa (löyhä hiekka) 10 m

Tapaus 2:



Rakenne ylhäältä alas:

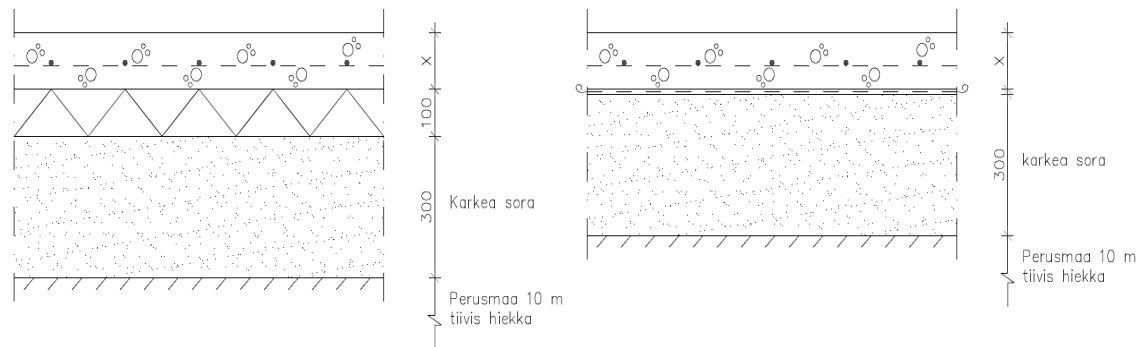
Betonilaatta 80-200 mm

Lämmöneriste 100 mm / ilman lämmöneristettä

Sora 300 mm

Perusmaa (tiivis hiekka) 10 m

Tapaus 3:



Rakenne ylhäältä alas:

Betonilaatta 80-200 mm

Lämmöneriste 100 mm / ilman lämmöneristettä

Karkea sora 300 mm

Perusmaa (tiivis hiekka) 10 m